

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

13. 9. 2004

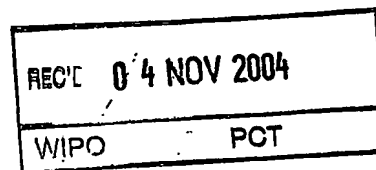
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2003年 9月 5日

出願番号  
Application Number: 特願2003-314820  
[ST. 10/C]: [JP 2003-314820]

出願人  
Applicant(s): 川崎重工業株式会社

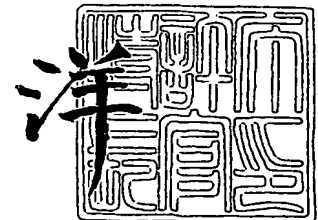


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年10月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小川



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願  
【整理番号】 030244  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 27/28  
【発明者】  
    【住所又は居所】 千葉県野田市二ツ塚 1 1 8 番地 川崎重工業株式会社野田工場内  
    【氏名】 室 幹雄  
【発明者】  
    【住所又は居所】 千葉県野田市二ツ塚 1 1 8 番地 川崎重工業株式会社野田工場内  
    【氏名】 間 久直  
【発明者】  
    【住所又は居所】 千葉県野田市二ツ塚 1 1 8 番地 川崎重工業株式会社野田工場内  
    【氏名】 高谷 芳明  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000000974  
    【氏名又は名称】 川崎重工業株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100104341  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 関 正治  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 041232  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

波長によって旋光角が変わる旋光分散特性を有する旋光子、および検光子から成り、入射光が該旋光子を透過後に該検光子を透過するように構成した光学系を備えて、複数の波長成分からなる直線偏光を入射して前記旋光子を透過した後に検光子を透過させると、各波長成分毎に異なる偏光面の傾きを生じて検光子を通過させるときに異なる空間光強度を有するようにして出射光として放出する光制御装置。

**【請求項 2】**

さらに前記旋光子の入射側位置に偏光子を備えて、複数の波長成分からなる任意の偏光特性を有する光を入射すると、該複数の波長成分が同じ偏光面を有する直線偏光となって前記旋光子に入射して、各波長成分毎に異なる空間光強度を与えることが可能な請求項 1 記載の光制御装置。

**【請求項 3】**

前記検光子に回転機構を備えて、検光子の偏光成分選択特性を光軸まわりに回転させることにより、波長成分毎の空間光強度の大きさ又は光強度比率を変化させることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光制御装置。

**【請求項 4】**

前記旋光分散素子に旋光分散角または旋光回転角を変える機構を備えて、旋光分散角または旋光回転角により波長成分毎の空間光強度の大きさまたは光強度比率を変化させることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光制御装置。

**【請求項 5】**

波長によって旋光角が変わる旋光分散特性を有する旋光子と、入射面全体あるいは面上の部位ごとに入射光の偏光面の旋光角を旋光回転により変えることができる空間光変調素子と、検光子とから成り、入射光が前記旋光子と前記空間光変調素子と前記検光子を順に透過するように構成した光学系を備えて、複数の波長成分からなる直線偏光を入射して前記旋光子を透過させ各波長成分ごとにそれぞれ独自の旋光角を有するようにした後に、部位ごとに前記波長成分の内のいずれかの偏光面の旋光角に合わせて旋光回転を調整した前記空間光変調素子に前記旋光子を透過した光を入射させて前記各波長成分ごとに偏光面旋光角を前記検光子の向きに対して所定の関係を有するように調整して、各波長成分ごとに異なる空間光強度を有する出射光として放出する光制御装置。

**【請求項 6】**

さらに、前記旋光子の入射側位置に偏光子を備えて、複数の波長成分からなる任意の偏光特性を有する光を入射すると、該複数の波長成分が同じ偏光面を有する直線偏光となって前記旋光子に入射して、各波長成分毎に異なる空間光強度を与えることが可能な請求項 5 記載の光制御装置。

**【請求項 7】**

前記空間光変調素子の光軸に垂直な面が多数の区画に分割され、かつ入射光の偏光面の旋光角を区画毎に、それぞれ独立に変えることができることを特徴とする請求項 5 および 6 記載の光制御装置。

**【請求項 8】**

前記空間光変調素子の旋光回転角の大きさまたは旋光回転角の大きさの近視野像あるいは遠視野像における分布を変えることにより、波長成分毎の空間光強度の大きさ又は波長成分毎の空間光強度の大きさの分布を変化させることを特徴とする請求項 5 から 7 のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項 9】**

前記空間光変調素子が TN (twisted nematic) 液晶であることを特徴とする請求項 5 から 8 のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項 10】**

前記空間光変調素子を透過する光に与える偏光面の回転角が、光軸中心から径方向の外に向かって軸対称 (同心円状) に、段階的もしくは連続的な変化を与えることを特徴と

する請求項 7 から 9 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 11】

前記空間光変調素子の旋光角を調整することにより、出射光の色調を変化させることを特徴とする請求項 5 から 10 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 12】

前記空間光変調素子の空間光強度分布の制御に伴い発生する空間位相変調作用を調整することを特徴とする請求項 5 から 11 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 13】

前記空間光変調素子の旋光回転角の最大値が  $180^\circ$  となるように設定することを特徴とする請求項 5 から 12 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 14】

波長によって旋光角が変わる旋光分散特性を有する旋光子と、入射面全体が一様にあるいは面上の部位ごとに入射光の波面を制御し入射光の空間位相分布を調整する空間光位相変調素子とから成り、入射光が前記旋光子と前記空間光位相変調素子を順に透過するように構成した光学系を備えて、複数の波長成分からなる直線偏光を入射して前記旋光子を透過させ各波長成分ごとにそれぞれ独自の旋光角を有するようにした後に、全体を一様にあるいは部位ごとに前記波長成分に対する空間光位相変調量を調整した前記空間光位相変調素子に前記旋光子を透過した光を入射させて、前記各波長成分ごとに空間光位相変調を受ける光量の割合を調整した出射光を出射し、各波長成分ごとに異なる遠視野像を形成する光制御装置。

【請求項 15】

前記空間光位相変調素子が入射光の光軸に垂直な面を規定する直交座標軸のどちらか 1 軸の方向のみの光路長を変える 2 次元光位相変調器であることを特徴とする請求項 14 記載の光制御装置。

【請求項 16】

前記空間光位相変調素子が平行配向ネマチック液晶空間光変調素子であることを特徴とする請求項 14 または 15 記載の光制御装置。

【請求項 17】

前記旋光子が旋光分散効果を使って入射直線偏光成分に波長ごとに異なった偏光角を与えることにより、光軸に垂直な面上の基準となる直交座標軸方向に配分した 2 つの偏光成分の割合が波長ごとに調整された透過光を出射し、前記空間光変調素子が該透過光を入射させて空間位相変調作用により光波面の空間形状が整形された偏光成分と該空間光変調作用が及ばず光波面の空間形状が変化しない偏光成分との割合を調整した出射光を出射することを特徴とする請求項 14 から 16 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 18】

前記空間光変調素子の空間位相変調作用により、出射光の空間光位相分布が螺旋階段のような形態を有し、さらに光軸周りに 1 周するごとに生ずる位相ずれの大きさが  $2\pi \text{ rad}$  の整数倍の近傍値になることを特徴とする請求項 5 から 17 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 19】

前記出射光を照明として利用することを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 20】

前記出射光を表示用の光源として利用することを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 21】

さらに、波長成分毎の光位相を調整する波長別位相変調素子を備えることを特徴とする請求項 1 から 20 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 22】

前記波長別位相変調素子による波長成分毎の光位相の調整を前記旋光子又は前記空間光

変調素子又は前記空間光位相変調素子の調整と同時に行うことにより、出射光の波長成分毎の位相および空間光強度分布又は空間光位相分布を同時に制御することを特徴とする請求項 21 記載の光制御装置。

【請求項 23】

前記旋光子がファラデー回転子であることを特徴とする請求項 1 から 22 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 24】

前記旋光子が自然旋光材料から成る光学素子であることを特徴とする請求項 1 から 22 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 25】

前記旋光子が液晶から成る光学素子であることを特徴とする請求項 1 から 22 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 26】

前記旋光子を通過後の光の旋光分散角の最大値が 90 度となるように設定することを特徴とする請求項 1 から 25 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 27】

前記複数の波長成分を有する入射光が、白熱灯から出射された光であることを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 28】

前記複数の波長成分を有する入射光が、蛍光灯から出射された光であることを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 29】

前記複数の波長成分を有する入射光が、エレクトロルミネセンスから出射された光であることを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 30】

前記複数の波長成分を有する入射光が、発光ダイオードから出射された光であることを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 31】

前記複数の波長成分を有する入射光が、単一のレーザ装置から出射された光であることを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 32】

前記複数の波長成分を有する入射光が、それぞれ異なった波長成分を有する複数のレーザを組合せて作られる光であることを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれかに記載の光制御装置。

【請求項 33】

前記複数の波長成分を有する入射光が、パルス光であることを特徴とする請求項 31 または 32 記載の光制御装置。

【請求項 34】

前記パルス光が、超短パルス光であることを特徴とする請求項 33 記載の光制御装置。

【請求項 35】

前記超短パルス光が、フーリエ限界パルスと比較して十分に波長帯域の広いパルス構造を持った光であることを特徴とする請求項 34 記載の光制御装置。

【請求項 36】

前記超短パルス光がチャープパルス増幅器が装備された超短パルスレーザの出射光であって、前記波長分散型旋光子をパルスストレッチャーと増幅器の間に挿入し、また前記空間光変調素子を該増幅器とパルスコンプレッサーの間に挿入することを特徴とする請求項 34 記載の光制御装置。

【請求項 37】

前記複数の波長成分を有する入射光が、白色光であることを特徴とする請求項 27 から 36 のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項38】**

前記複数の波長成分を有する入射光が、赤、緑、青の三色から成る光源から出射された光であることを特徴とする請求項27から37のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項39】**

さらに、出射側位置に集光光学系を備えて、前記出射光を該集光光学系を用いて集光することを特徴とする請求項1から38のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項40】**

前記出射光の波長成分毎に空間分布の異なった複数の波長成分を組合わせた効果を利用して各種照明に利用することを特徴とする請求項1から39のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項41】**

前記出射光の波長成分毎に空間分布の異なった複数の波長成分を組合わせた効果を利用して各種表示用の光源に利用することを特徴とする請求項1から39のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項42】**

前記出射光の波長成分毎に空間分布の異なった複数の波長成分を組合わせた効果を利用して各種プロセス制御に利用することを特徴とする請求項1から39のいずれかに記載の光制御装置。

**【請求項43】**

レーザプラズマX線発生源のターゲットに先に到達する光パルスについて先頭部分が光軸の中心部にエネルギーの集中した空間光強度分布をさせ、後からターゲットに到達する一連の光パルスについて空間光強度分布が中心部の光強度が弱く周辺部の光強度が強い円環状の空間分布をさせることにより、レーザプラズマX線発生量の制御をすることを特徴とする請求項42記載の光制御装置。

**【請求項44】**

走査型蛍光制御方式(STED: Stimulated Emission Depletion)の超解像顕微鏡において、広帯域スペクトル中の蛍光と同一波長の波長成分を誘導放出による蛍光抑制の目的に使用し、その他の波長の光は蛍光励起光として使用することにより、試料を拡大観察するようにしたことを特徴とする請求項42記載の光制御装置。

**【請求項45】**

旋光分散特性を有する旋光子に複数の波長成分からなる直線偏光を入射して各波長成分ごとに異なる偏光角を与え、旋光子透過後に空間光変調素子を透過させて入射面全体あるいは面上の部位ごとに偏光面の旋光角を変え、空間光変調素子通過後に検光子を透過させることにより、各波長成分ごとに空間光強度分布を制御した出射光として出射させることを特徴とする光制御方法。

**【請求項46】**

旋光分散特性を有する旋光子に複数の波長成分からなる直線偏光を入射して各波長成分ごとに異なる偏光角を与え、旋光子透過後に空間光位相変調素子を透過させて入射面全体あるいは面上の部位ごとに入射光の空間光位相を変えることにより、各波長成分ごとの空間光強度分布を制御した出射光を得ることを特徴とする光制御方法。

**【請求項47】**

さらに、波長別位相変調素子を備えて波長成分ごとの光位相を調整することを特徴とする請求項45または46記載の光制御方法。

**【請求項48】**

空間光位相分布を同時に制御することを特徴とする請求項47記載の光制御方法。

**【請求項49】**

前記波長別位相変調素子による波長成分ごとの光位相の調整を前記旋光子または前記空間光変調素子または前記空間光位相変調素子による空間光強度の調整と併せて行って、出射光の波長成分ごとの位相および空間光強度分布または空間光位相分布を同時に制御することを特徴とする請求項47記載の光制御方法。

**【請求項 5 0】**

さらに、光の出射側位置に集光光学系を備えて、前記出射光を集光することを特徴とする請求項 4 5 から 4 9 のいずれかに記載の光制御方法。

**【請求項 5 1】**

前記出射光の波長成分ごとに空間分布の異なる複数の波長成分を組み合わせた効果を各種照明として利用することを特徴とする請求項 4 5 から 5 0 のいずれかに記載の光制御方法。

**【請求項 5 2】**

前記出射光の波長成分ごとに空間分布の異なる複数の波長成分を組み合わせた効果を各種表示用光源として利用することを特徴とする請求項 4 5 から 5 0 のいずれかに記載の光制御方法。

**【請求項 5 3】**

前記出射光の波長成分ごとに空間分布の異なる複数の波長成分を組み合わせた効果を各種プロセス制御に利用することを特徴とする請求項 4 5 から 5 0 のいずれかに記載の光制御方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】光制御装置および光制御方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の波長成分からなる入射光に対して各波長成分毎に異なる空間光強度を与えることが可能な新しい空間光変調システムに関し、出射光の色調を容易に変化させることのできる特徴を生かした照明や表示用光源に関する利用法および装置、さらにこのような光を使用したプロセス制御法および装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光源の色調を変化させることは、各種照明や各種表示用光源ばかりでなく、レーザ加工やレーザプラズマX線、レーザ蛍光顕微鏡などの多数の用途があり、広範囲のスペクトル領域において多数の種類の色調を容易に得ることができる手法が実現すれば広範囲の産業分野における利用が期待できる。従来においては、数種類の異なった色の光源を用いて夫々の色の光源強度を独立に変化させたものを光合成することによったり、または、白色光線を数種類の異なったカラーフィルターを透過させることによったりなどして、色調の異なった光を提供していた。

【0003】

しかしながら、複数の光源を用いて個々に光強度を制御したものを光合成する手法はシステムが複雑になり、またカラーフィルターを用いる方法は多数種類の色調変化を行なうことが困難であるなどの問題があり、光源の色調を多数の種類に変化させる簡単で自由度の高い手法が求められていた。

特に、複数の波長成分からなるレーザ光パルスを整形して目的に沿った光の空間的な波長分布を与える簡便な方法が望まれる。

【0004】

レーザ光はそのコヒーレンス特性により集光光学系を用いて波長オーダーまでビーム径を絞り込むことが可能であり、また光速である $30\text{万 km/sec}$ の超高速伝搬特性と合わせて、各種精密な高速プロセス制御に適用されている。しかし、レーザプロセスによるレーザプラズマX線発生やレーザ加工等においては、プロセス制御の目的であるX線発生強度や加工効率あるいは加工精度が、材料の種類や形状、レーザビームの波長、空間強度分布や時間波形など、非常に多くのパラメータに左右される。

【0005】

たとえば、レーザプラズマX線発生においては、発生したプラズマの温度および密度が時間的にも空間的にも短時間に複雑に変動する現象が見られる。このため、特定波長のX線を効率良く発生させるには、レーザプラズマの温度を最適温度に保つため、前記レーザプラズマの時空発展に追従して精密にプラズマ温度を制御できるような光を照射しなければならない。

特に、短パルスレーザを利用する場合には、真空中で短パルスの高強度レーザを集光してターゲットに照射したときに超高温のプラズマが発生し、例えば数十から数百 $\text{km/sec}$ の速度で $\mu\text{m}$ のプラズマ領域が膨張するので、超短時間の領域で有効な制御手法が要求される。

【0006】

したがって、上記プラズマを制御するための光は、例えばレーザプラズマX線発生の場合にプラズマの電子温度が時間的にも空間的にも最適温度を保つような形態を与えるなど、反応プロセスが最適経路に近づくための精密な制御を行なう必要がある。

「反応プロセスの最適経路」に近づかせるためには、パルス時間波形や空間光強度分布を制御すればよいが、従来は空間光強度分布とパルス時間波形を同時に制御することは容易ではなかった。特に、液晶の応答速度限界である $\text{ms}$ 以下の時間間隔の領域に関しては、レーザビームの空間光強度分布と時間波形を同時に精密に制御することは装置が複雑で大型化する等の難点があり、非常に困難であった。



## 【0007】

従来、たとえば、複数の波長成分からなるレーザ光パルスの整形法として、波長可変レーザと空間光変調素子を組み合わせたものがある。波長可変レーザは、光増幅波長帯域の広いレーザ媒体を回折格子やプリズムなどの波長選択フィルターで特定波長を選択して発振させるものである。音響光学素子からなる回折格子を電氣的に制御すれば、高速度応答する波長別光パルス発振をさせることができる。

また、空間光変調器を波長ごとに準備して、波長可変レーザの出力をダイクロイックミラーなどを用いて波長ごとに分離し、波長により異なる変調パターンを持つ空間光変調器を通して、再び光を合成するようにしたものでは、光パルスの異なる波長ごとに異なる空間光強度分布を与えることができる。

## 【0008】

しかし、波長切替速度は最短で  $\mu$  s 水準である波長選択フィルターの切替速度に依存するが、また、最短で m s 水準である空間光変調素子の切替速度に依存する。したがって、これら要素の組み合わせで構成される空間光強度分布の切替速度は、律速となる m s 水準より短くすることはできない。

複数の波長を含む超短光パルスの波長ごとに位相を変調するものとして、非特許文献 1 に記載されたような、回折格子対の片方に超短光パルスを入射させて回折格子の回折角分散特性に基づいて波長分離し、回折角度が分散した光を波長ごとにレンズで光軸が平行になるようにそろえて集光し、光軸に垂直な方向にスペクトル展開して形成するフーリエ面に液晶空間光変調素子を挿入し、光変調素子の透過光を再びレンズで集光して回折格子対のもう一方の上に収束し合成することにより、波長ごとに時間的位置としての相対位相を調整した出射光パルスを生成させる方法がある。

## 【0009】

また、非特許文献 2 に記載された複屈折結晶と音響光学素子が作る回折格子を組み合わせた音響光可調節分散フィルタシステム (AOPDF) により、パルスの時間波形を超短時間領域で任意に変化させることができる。論文では、実験により 30 fs の超短光パルスを 17 fs に圧縮することができたとしている。

しかし、これらの方法では全ての波長について同じパターンの空間光強度分布を与えることになるので光調整の自由度が低く、各波長ごとに異なる光強度パターンを持たせることはできない。

## 【0010】

さらに、特許文献 1 には、短パルスレーザをビームスプリッタにより光強度の異なる主パルスと副パルスに分割し、光学遅延回路で一方を他方より遅延させるように調整し 2 連パルス化したレーザビームを金属ターゲットに照射して X 線を得るようにしたマッハツェンダー干渉計方式のパルス時間波形整形方法が開示されている。この方法では、パルス間の時間間隔と主パルスと副パルスの光強度を別々に調整することができる。しかし、波長の異なるパルスを利用することは開示されていないし、示唆もない。

## 【0011】

また、非特許文献 3 には、時間的に偏光状態が変化する高強度フェムト秒レーザーパルスの発生方法が記載されている。記載された方法では、チャープパルス増幅法により発生した入射レーザーパルスをビームスプリッタにより参照光と信号光に分割する。参照光は半波長板を用いて斜め 45 度方向の直線偏光にして x, y 両成分を持つようにし、信号光との相対遅延時間を固定する。信号光は干渉計に入射し時間依存偏光パルスを生成する。時間依存偏光パルスはビームスプリッタで参照光と同軸上に相対遅延時間で組み合わせられた後、ポラライザ (偏光ビームスプリッター) により x 成分と y 成分に分割され、分光器に入射して x, y 成分のスペクトル干渉信号を生じる。このように、高強度フェムト秒レーザーパルスを干渉計を用いて分割し、直交する偏光成分間に遅延を与えて再合成することで時間的にパルスの偏光特性が変化するパルスを発生させることができる。

## 【0012】

しかし、この方法では、空間光強度分布を調整することはできず、当然、波長ごとに光

強度を変化させた、より高い自由度を持った加工を可能にするようなレーザ光を得ることはできない。

また、本願発明の発明者らが先に開示した特願 2002-073365 には、短パルスレーザ光をハーフミラーで分割して光学遅延回路で光路長差を与えるとともに、可変形鏡を併用して同時にそれぞれの光路の空間光強度分布を調整可能にした光パルス制御システムが示されている。

#### 【0013】

しかしながら、特定波長の X 線を効率良く発生させるために「反応プロセスの最適経路」にできるだけ近づけるような、時空発展するレーザプラズマの温度制御を行なうためには、多数の種類 of 空間光強度分布を備えた一連のシート状の光パルスを用意して、短時間の間に適当な時間間隔で逐次照射する必要がある、そのための光学系は特願 2002-073365 で開示した光学系を複数台組合わせることにより実現したとしても、光学系が複雑で大型化する等の難点があった。

#### 【0014】

なお、特許文献 2 には、ファラデー回転子と TN (twisted nematic) 液晶と検光子を用いて、機械的駆動部がないアライメントフリーな光分離装置が開示されている。開示装置は、光通信で用いられる 2 種類の波長  $1.3 \mu\text{m}$  と  $1.5 \mu\text{m}$  の直線偏光に  $90^\circ$  の偏光方向の差を生じさせておいて、検光子で分離するものである。この発明は、2 種類の波長成分を切り換えるだけで、空間光強度分布を調整することにより光制御の自由度を増大させるという技術的思想を有しない。

#### 【0015】

また、特許文献 3 には、ファラデー回転子と TN 液晶と検光子を用いた光アイソレータが開示されている。開示されたアイソレータは、特定の直線偏光を透過させる偏光子と検光子の間に旋光性の液晶回転子とファラデー回転子とを配置したものである。ファラデー回転子は光の透過方向によらず偏光面を同じ方向に回転させるので、往路の光を透過させるように調整すると、復路の光を偏光板で遮光することになる。開示発明は、光通信に使う光信号を ON/OFF するための装置で、空間光強度分布を調整する思想がない。

#### 【0016】

このように、従来技術における光変調装置には、光源からいろいろな色調を引き出した、複数の波長成分ごとにそれぞれ所望の空間光強度分布を与えるようにするものは無かった。特に、ms 以下の時間差すなわち位相差で波長ごとにそれぞれ異なる空間光強度分布を持たせる手段はなかった。また、プロセスに対して理想的な精密制御を行うためには、複数の波長成分からなる光を使って波長ごとの空間光強度分布をそれぞれ最適な光強度分布に設定すると共に、波長ごとの位相差も自由に設定することができることが好ましい。

#### 【0017】

さらに、近年、超短光パルスを用いた化学プロセスの計測・制御に関する研究が盛んに行われてきている。現在は、超短光パルスを用いて化学反応プロセスの量子制御やレーザプラズマ X 線の超高速プロセスの制御に関する研究などが行われているが、時間領域と空間領域の光パルス構造を同時に制御することができれば、さらに精密なプロセス制御が行えることは明らかである。

時間特性と空間特性を同時に制御しようとすれば、超短光パルス時間領域に関しては、従来技術の液晶等を使用した空間光変調素子やデフォーダブルミラーを用いる方法では応答速度が不足するため、光学遅延回路と空間光強度分布を制御する光学系を組み合わせたシステムにより空間光強度分布の異なるパルス列を組み合わせた手法が用いられてきた。

#### 【0018】

このような光学系の代表的なものとして、1994 年にフィンランドのヘル (S.W.Hell) らが最初に報告した蛍光抑制 (STED: Stimulated Emission Depletion) 方式の超解像蛍光顕微鏡に適用したシステムがある。しかし、STED に適用した例は、2 種類の光について強度分布があれば十分である特殊な例を対象にしたものであり、より広範囲な

利用形態にも適用可能にするためには、多数の種類の光強度分布を時間方向に展開する必要があり、寸法や効率、費用の問題が生じて現実的に利用可能な光学系とすることはできない。

#### 【0019】

【特許文献1】特開平08-213192号公報

【特許文献2】特開平10-161064号公報

【特許文献3】特開平05-241100号公報

【非特許文献1】神成文彦他「アダプティブ制御によるフェムト秒レーザパルス整形と光励起過程への応用」レーザ研究、2000年8月、479-485頁

【非特許文献2】F. Verluise et.al. "Amplitude and phase control of ultrashort pulses by use of an acousto-optic programmable dispersive filter: pulse compression and shaping", OPTICS LETTERS, Vol.25, No.8, pp.575-577, April 15, 2000, Optical Society of America

【非特許文献3】欠端雅之他「時間的に偏光状態が変化する高強度フェムト秒レーザパルスの発生」レーザ学会学術講演会第22回年次大会講演予稿集、2002年1月、13-14頁

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0020】

本発明が解決しようとする第1の課題は、広範囲にわたって光源の色調を連続的に変化させることにより多数の色調を容易に作り出すことができる簡単な光学装置および手法を提供することである。

また、本発明が解決しようとする第2の課題は、強誘電性液晶の光学的スイッチングに関する応答速度限界を超えたms以下の時間間隔の領域において、レーザの波長ごとに空間強度分布と時間波形を同時に精密に調整することができるレーザパルス制御方法と簡単な光学装置を提供することであり、さらに、各種材料または試料にレーザを照射してレーザプラズマX線を発生させるときに特定波長のX線強度を選択的に制御する等のプロセス制御を的確に行うようにレーザ光を調整する機構を備えた光制御方法と光学装置を提供することである。

また、蛍光抑制方式の超解像走査型レーザ蛍光顕微鏡(STED)において、単一の光学系で蛍光励起光と蛍光抑制光を発生することができる簡易型光学系を備えた装置と光制御方法を提供することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0021】

上記課題を解決するため、本発明の光制御装置は、波長によって旋光角が変わる旋光分散特性を有する旋光子と、検光子から成り、入射光が旋光子を透過後に検光子を透過するように構成した光学系を備えて、複数の波長成分からなる直線偏光を入射して旋光子を透過した後に検光子を透過させると、各波長成分毎に異なる偏光面の傾きを生じ検光子を透過させるときに波長ごとに異なる空間光強度を有する出射光として放出させることを特徴とする。

#### 【0022】

複数の波長成分を含む直線偏光を入射させると、旋光子により波長ごとに異なる旋光角が与えられ、旋光子を透過した光は、波長ごとに偏光面の傾きが異なった状態になって検光子に入射する。検光子は透過する偏光面の向きが決まっているので、旋光子から入射してくる光における偏光面の向きが検光子の透過偏光面方向と合致しているものほど検光子を透過する光量が大きくなる。したがって、旋光子でそれぞれ異なる旋光角を与えられた波長のうちの一部は検光子を通過するが、他の波長成分は検光子を通過することができない。また、検光子を通過する波長の内でも大部分のエネルギーが通過するものと、一部のエネルギーしか通過しないものが出てくる。

#### 【0023】

波長によって旋光角が変わる旋光分散特性を有する旋光子には、水晶結晶やTN (twisted nematic) 液晶などの光学活性物質からなる自然旋光材料で形成されるもの、ファラデー回転子などがある。

水晶結晶やTN液晶は、ある特定の方向にのみ旋光性を表す。また、光の進行方向を逆にすると偏光面の回転方向も逆になるので、光がこれら物質を往復すると偏光面は丁度元の状態に戻る。水晶結晶の旋光性は、電場や磁場の影響を殆ど受けないが、TN液晶の旋光性は印加する電場の強さにより変化する。なお、スクロール溶液のような等方性物質では任意の方向に透過する光について旋光性を表す。

#### 【0024】

ファラデー回転子は、物質を透過する光の振動面が磁場により回転するファラデー効果を利用した光学素子である。ファラデー効果は、物質が非磁性体である場合には、振動面の回転角 $\theta$ が、磁場の強さ $H$ 、物質中を光が伝搬する道筋の長さ $l$ 、光の伝搬方向と磁場のなす角 $\phi$ の余弦値 $\cos \phi$ の積に比例する。比例定数 $V$ をベルデ定数と言ひ、物質の種類や波長によって決まる。なお、物質が磁性体である場合は、ファラデー回転角は、印加磁場ではなく磁化に比例する。

#### 【0025】

ファラデー回転子は、光の進行方向を逆向きにしても偏光面の回転する方向が変わらないことが特徴で、特許文献3に開示された光アイソレータは、この光の進行方向によって偏光面の回転する方向が変わらない性質を用いたものである。

ファラデー回転子は、自然旋光性材料を用いたものより旋光分散特性が強いものが多いが、代表的なファラデー光学磁性体物質であるビスマス鉄ガーネット ( $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ) の結晶を用いたものは特に旋光性が強い。飽和磁化状態のビスマス鉄ガーネット結晶中で波長帯域700nmから800nmの光を磁場方向に進行させると、光が伝搬する道筋の長さ1cm当たり約18000度の偏光面回転偏差が生じる。したがって、結晶の厚さを50 $\mu\text{m}$ にすると、波長による磁気回転分散の大きさがちょうど90度程度になる。

#### 【0026】

本発明の光制御装置は、このように、旋光子により入射光に含まれる波長成分ごとに異なる偏光面傾きを与えて、検光子を透過する成分を選択するので、複数の波長成分を含む光を入射させると、波長成分ごとに異なる光強度を有するようにすることができるから、入射光とは色合いの異なる出射光を得ることができる。なお、外部から印加磁場を調整する機構を備えることにより、磁化の強さを変化させて旋光子の旋光分散特性を調整することができる。

また、検光子に回転機構を設けて、透過偏光面の角度を変更できるようにすれば、旋光子に加えて、検光子によっても波長ごとの光強度を調整したり、波長同士の光強度比率を変化させることができる。

#### 【0027】

なお、旋光子の入射側に偏光子を備えて、入射光の偏光面を偏光子で所定の方向に揃えてから旋光子に入射させるようにすれば、光制御装置に入射させる光は直線偏光である必要はなくなり、普通の白熱灯や蛍光灯からの光や、エレクトロルミネッセンスや発光ダイオードから出射された光であっても良い。また各種レーザを用いても良い。

また光源のスペクトルは白色光などの連続スペクトルや各種輝線スペクトル、赤、緑、青の光の三原色であってもよい。さらに、入射光はコヒーレント光、インコヒーレント光および部分コヒーレント光のいずれであってもよい。

#### 【0028】

旋光子で旋光角を連続的に変えたり検光子で透過する偏光面方向を変更することにより波長別の空間光強度が連続的に変化するので、出射光の色調を多数の種類に容易に変えることができる。

したがって、本発明の光制御装置は、広告塔、展示場、舞台、噴水、飲食店、商店、遊技機、工場や発電所の制御装置、自動車、鉄道、船舶、航空機などの交通手段などの各種照明、または各種表示用光源として利用することができる。

## 【0029】

また、本発明の光制御装置は、上記の旋光子と検光子に加えて、さらに入射面全面あるいは入射面上の部位ごとに入射光の偏光面の旋光角を旋光回転により変えることができる空間光変調素子を備えて、入射光が旋光子と空間光変調素子と検光子を順に透過するように構成した光学系を構成するようにしてもよい。

## 【0030】

このように構成した本発明の光制御装置では、複数の波長成分からなる直線偏光を入射して旋光子を透過させ各波長成分ごとにそれぞれ独自の旋光角を有するようにして分けた後に、全面あるいは部位ごとに波長成分の内のいずれかの偏光面の旋光角に合わせて旋光回転を調整した空間光変調素子に旋光子を透過した光を入射させて各波長成分ごとに偏光面旋光角を検光子の向きに対して所定の関係を有するように調整し、この光を検光子を透過させることにより、各波長成分ごとに異なる空間光強度を有する出射光として放出することができる。

## 【0031】

なお、偏光子を備えて入射光が初めに偏光子を通過するようにすると、直線偏光でない光線についても偏光子で所定の偏光面を有する光になるので、直線偏光と同様の処理が可能になることは、先に説明した主発明の光制御装置と同様である。

この光制御装置に用いる入射光の偏光面の旋光角を旋光回転により変える空間光変調素子として、代表的なものにネマティック液晶の捻れネマティック効果を利用したTN (twisted nematic) 液晶がある。

## 【0032】

TN液晶は、たとえば、透明電極を塗布した2枚のガラス基板の間に誘電異方性が正のネマティック液晶を10 $\mu$ m程度の厚さに挟み込み、液晶分子の長軸が上下の基板間で連続的に90度捻れるように構成したツイスト(TN)配列セルである。TN配列セルの捻れピッチは可視光の波長と比べて十分に大きいので、ガラス基板に垂直に入射した直線偏光の偏光方向はセルを通過中に液晶分子の捻れに沿って90°回転し入射光は90°旋光する。ここで、TN配列セルに電圧を印加すると、ある閾値電圧 $V_{th}$ を超えるところから液晶分子長軸は電場方向に傾き始めて $V_{th}$ の2倍程度の電圧で飽和する。入射直線偏光の旋光角度は、液晶分子の捻れに依存するため電圧が高くなるにつれて小さくなりついには旋光角度が0°になる。したがって、液晶セルに対する印加電圧により入射直線偏光の旋光角を調整することができる。

## 【0033】

液晶装置は、回路印刷技術を用いて透明電極を適切に配置することにより、個々に印加電圧を調整できる微細なセルを密着して配列させることができるので、直線偏光が入射する光軸に垂直な面を適当なゾーンに分けてそれぞれ適当な偏光面回転角を与えることができる。

このような液晶装置を用いて、波長ごとに異なる偏光面角度を有するような光を入射させると、入射面上の各部に設定された偏光面回転角が各波長の偏光面角度に加わるので、その偏光角加算値が検光子の透過偏光面の方向と一致した波長成分が光制御装置の出射光として取り出される。

## 【0034】

したがって、液晶装置の入射面上の部位によって出射光として取り出される波長成分が決まり、TN液晶装置は空間光変調素子として機能する。なお、空間光変調素子を透過した光の偏光面の傾きと検光子の透過偏光面方向がずれているときには検光子を透過する光量がそのずれ角に応じて増減するので、波長ごとの光強度の調整を行うこともできる。

このように、本発明第2の光制御装置は、入射光である複数の波長成分から成る直線偏光を旋光分散を有する旋光子に透過させ、波長毎の偏光面回転角を変えた後、液晶などのように単一又は多数の独立な区画に分割された偏光面回転子から成る空間光変調素子を透過させることにより波長別の空間光強度分布が所定のパターンになるように調整することができる。

上記のような波長毎に空間光強度分布を変えることの特性は即ち色調の空間分布の変化を与えることを意味するので、前記の照明や表示法において様々なバリエーションをさらに付加することができて非常に有用である。

#### 【0035】

さらに、本発明の光制御装置は、波長別に位相を制御可能な光学素子、すなわち波長別位相変調素子と組み合わせることにより、同時に光パルスの時間波形も所定のパターンになるように調整することもできる。

波長別位相変調素子の例として、フーリエ光シンセシス光学系と呼ばれる光パルス整形光学系を挙げることができる。フーリエ光シンセシス光学系は、回折格子、集光光学系、空間光変調素子、集光光学系、回折格子の順に集光光学系の焦点距離の間隔で並べたもので、多波長成分を含む入射光を回折格子でスペクトル分解し、集光光学系で光軸に垂直な方向にスペクトル展開し、空間光変調素子で各波長成分ごとの光路長を変化させて位相差を所定の値に調整することができる。透過した光はその後集光光学系を通り回折格子で光ビームに収束する。フーリエ光シンセシス光学系により、光ビームに含まれる波長成分が時間軸方向に展開された光ビームを得ることができる。

#### 【0036】

そこで、波長別位相変調素子を旋光子もしくは空間光変調素子と同時に使用することによって、光ビーム内の波長成分ごとに精密な空間光強度分布の調整をすると共に時間波形の調整も可能になる。本発明の光制御装置は、数個の光学素子を組み立てて簡単に構成することができ、このような簡便な装置によって光の精密な時間空間構造（空間光強度分布および時間波形）の制御を容易に実現することができるようになった。

#### 【0037】

また、本発明第2の光制御装置は、上記の旋光子と、入射面全面一様にあるいは入射面上の部位ごとに入射光の位相を調整することができる空間光位相変調素子を備えて、入射光が旋光子と空間光位相変調素子を順に透過するようにした光学系を構成することの特徴とする。ここで、空間光位相変調素子は光軸に垂直な2個の直交座標軸において1方向の偏光成分にのみ位相変調が作用するような素子である。空間光位相変調素子は、たとえば、分子軸が1方向に向くように液晶分子を配向した平行配向ネマチック液晶を用いて構成することができる。

#### 【0038】

複数の波長成分からなる直線偏光を入射して旋光子を透過させ各波長成分ごとにそれぞれ独自の旋光角を有するようにした後に、入射面上の部位ごとに位相変化量を調整した空間光位相変調素子に旋光子を透過した光を入射させると、各波長成分ごとに偏光面の傾きが異なるので、2個の直交座標軸それぞれの方向に偏光した成分の割合が異なり、空間光位相変調された成分と空間光位相変調されない成分の合成光が出射光になる。この出射光を集光光学系で集光すると、焦点位置における光強度分布として各波長成分ごとに空間光強度分布の異なった遠視野像が形成される。

#### 【0039】

空間光位相変調素子は、光の進行軸に対して垂直の面を規定する2軸の座標軸の1軸方向の偏光成分のみ光路長を変えることにより異なる位相遅延を生じさせる光学素子で、たとえばネマチック液晶の屈折率異方性を利用した2次元光位相変調器を使用することができる。

2次元光位相変調器は、屈折率異方性のある液晶分子を長軸が光軸に垂直な同一方向に向くように平行配置することにより、偏光面の旋光回転を生じないで純粋に位相のみを制御できるようにした液晶装置である。液晶層を挟む透明電極に電圧が印加されると印加電圧に対応して液晶分子長軸が光軸方向に傾き、長軸方向に偏光した光に位相遅延の変化を与える。一方、分子長軸方向に対して垂直の方向に偏光した成分は印加電圧により長軸方向が変化しても位相が変化しない。入射する直線偏光は、偏光方向に応じて分子長軸に平行な偏光成分と分子長軸に垂直な偏光成分の割合が異なるので、入射光の偏光面角度によって異なる位相遅延を生じる。また、印加電圧値によっても異なる位相遅延を生じる。

## 【0040】

そこで、空間光位相変調素子の2次元位置にそれぞれ適当な電圧を印加して所定の位相遅延パターンを形成しておいて、複数の波長成分からなる直線偏光を入射し旋光子を透過させる。すると入射光は波長ごとに異なる偏光面回転角が与えられ、この光線は位相遅延が2次元パターンとして設定された空間光位相変調素子に入射する。空間光位相変調素子を出た光線は、入射面上の位置ごとにそれぞれ独立に設定した印加電圧に従い、また、波長ごとに異なる偏光面角度に従って、それぞれ空間光位相変調がなされた偏光成分と空間光位相変調を受けない偏光成分が異なる割合で合成された出射光となる。

## 【0041】

このように空間光位相変調素子の出射側表面上に得られた近視野強度分布すなわち近視野像、および近視野位相分布を有する光は、集光光学系を介して波長成分および互いに直交した偏光成分ごとに干渉し、その焦点位置にそれぞれの近視野像に対応して波長ごとに異なる光強度を持った遠視野像として現れる。したがって、必要な遠視野像を形成するような適宜な近視野位相分布を生成するように空間光位相変調素子を調整する。近視野像および近視野位相分布から遠視野像を求める手法は波動光学において確立しており、予めシミュレーションや実験により視覚的に把握しておくことができる。

## 【0042】

したがって、空間光位相変調素子を用いるときは、出射光を検光子に通さないで遠視野像の空間光強度分布を制御することが可能なので、光を減衰させずに効率よく光エネルギーを利用することができる。

なお、旋光子の前に偏光子を配置すれば、旋光子に入射する光線の偏光面を選択することができるので、直線偏光でない光線を使っても同様の効果を得ることができる。

## 【0043】

このようにして光パルスの時間空間構造の時空制御を施した多波長成分を含有するレーザーパルスを物質に照射して、溶融・蒸発などの熱反応、原子核反応、プラズマ反応、化学反応、同位体分離、蛍光発生などのプロセスを生起させることができる。こうしたプロセスにより、レーザー加工、化学物質や元素の合成、分解、分離などや、原子、分子、イオン、電子、陽電子、中性子、クラスターなどの粒子生成や、X線、 $\gamma$ 線などの電磁波の発生や、蛍光の発生・制御を行なわせることができる。上記技術は、半導体、化学、エネルギー、医療、機械などの産業分野や、粒子加速器や生体物質の検査などの基礎研究などへの応用が期待されている。

## 【0044】

本発明の光制御装置を用いてレーザー光の空間強度分布と時間波形を調整することにより、発生させるX線の特性を精密に制御することができるので、上記プロセスの最適な制御を行なうことが可能になる。

また、本発明の光制御装置により生成したレーザー光をターゲットに照射してX線を発生させることにより、ターゲット位置におけるレーザー光の空間強度分布と照射時間間隔を適宜調整することができるので、上記プロセスの設計を微細な点にわたって行なうことができる。

## 【0045】

また、X線の強度特性として波長特性を測定し、目的とする特定波長におけるX線の強度の計測値に基づいて、レーザービームの強度分布および空間光位相分布の調整を行なうことができるようにしてもよい。発生させるX線は目的によって決まる適正な波長成分が多く含まれるようにすることが好ましい。また、目的とする波長のX線強度を測定して、当該波長成分の強度が大きくなるように空間強度分布および空間光位相分布を調整することができる。

## 【0046】

さらに、レーザープラズマX線発生装置においては、ターゲットに集光した位置におけるレーザービームの空間強度分布およびパターンは、先にターゲットに到達する光パルスの先端部分が光軸の中心部にエネルギーの集中した空間光強度分布をしており、後からターゲ

ットに到達する一連の光パルス空間強度分布が、レーザプラズマの膨張に追従して順次ビーム径が拡大しつつ中心部の光強度が弱く周辺部の光強度の強い円環状の空間分布をしていることが好ましい。ターゲットを照射するレーザ光パルスが上記のような空間分布および位相分布をとることにより、より広い空間領域およびより長い時間にわたって、レーザプラズマ中の電子温度を特定波長のX線を発生するのに適した値に保持することができて、目的とする波長のX線を効率よく発生させることができる。

#### 【0047】

本発明の光制御装置によれば、レーザ光を変成して波長毎に空間強度分布の異なる所定のパターンの光として発生させることができるので、この光を蛍光抑制 (STED: Stimulated Emission Depletion) 方式の超解像走査型レーザ蛍光顕微鏡に適用することができる。このとき、広帯域スペクトル中の試料中の蛍光と同一波長の波長成分を広帯域スペクトル中から選び出して誘導放出による蛍光抑制の目的に使用し、その他の波長の光は蛍光励起光として使用する。上記、蛍光励起光と蛍光抑制光を単一の光学系により同様に発生させることができるので装置を簡素化することができる。

#### 【0048】

また、本発明の光制御方法は、旋光分散特性を有する旋光子に複数の波長成分からなる直線偏光を入射して各波長成分ごとに異なる偏光角を与え、旋光子透過後に空間光変調素子を透過させて入射面全体あるいは面上の部位ごとに偏光面の旋光角を変え、空間光変調素子通過後に検光子を透過させることにより、各波長成分ごとに空間光強度分布を制御した出射光として出射させることを特徴とする。

さらに、旋光分散特性を有する旋光子に複数の波長成分からなる直線偏光を入射して各波長成分ごとに異なる偏光角を与え、旋光子透過後に空間光位相変調素子を透過させて入射面全体あるいは面上の部位ごとに入射光の空間光位相を変えることにより、各波長成分ごとの空間光強度分布を制御した出射光を得るものであってもよい。

#### 【0049】

なお、本発明の光制御方法は、さらに波長別位相変調素子を備えて波長成分ごとの光位相を調整するようにしてもよい。

また、波長別位相変調素子による波長成分ごとの光位相の調整を旋光子、空間光変調素子、空間光位相変調素子などによる空間光強度の調整と併せて行って、出射光の波長成分ごとの位相および空間光強度分布または空間光位相分布を同時に制御するようにすることもできる。

さらに、光の出射側位置に集光光学系を備えて、出射光を集光するようにしてもよい。

本発明の光制御方法は、波長成分ごとに空間分布の異なる複数の波長成分を組み合わせた効果を活用して、各種照明や表示用光源やプロセス制御に利用することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0050】

以下実施例を用いて本発明を詳細に説明する。

#### 【実施例1】

#### 【0051】

本実施例の光制御装置は、複数の波長成分を含む直線偏光を入射し、旋光分散素子に透過させて波長成分毎の偏光面回転角を変えた後、検光子を通すことにより、波長毎に空間光強度分布の異なった光を得られるようにしたものである。

図1は本実施例の光制御装置の基本構成図である。光制御装置9は、波長によって旋光角が変わる旋光分散素子3と、透過する光の偏光面方向を規制する検光子7とからなる。

本実施例に用いる検光子7は、特定の方向の偏光成分を選択的に透過させる光学素子であり、代表的なものとして偏光板や偏光ビームスプリッターがある。検光子7は旋光分散素子3により形成された偏光面回転角に基づいて出射光に空間光強度分布を与える機能を有する。

#### 【0052】

旋光分散素子3は、入射光1の偏光面を回転させる素子で、波長によって回転角が異なる



るものである。水晶やコレステリック液晶など自然旋光材料からなる旋光子を用いても良いが、旋光角が大きく、また旋光に伴う波長分散が大きいので、ファラデー回転子を用いることが好ましい。ファラデー回転子は光軸に平行な方向に磁場を印加することにより磁場強度に比例した旋光特性が現れ、調整が簡単である。回転子の材料が磁性体であるときは磁場の代わりに磁化に比例することになる。本実施例では、波長についての旋光角偏差が特に大きい磁性材料であるビスマス鉄ガーネット ( $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ) を利用する。

#### 【0053】

図2は、横軸に波長、縦軸に旋光回転角を取って、飽和磁化状態におけるビスマス鉄ガーネットの旋光回転角の波長分散係数を示す図面である。ビスマス鉄ガーネットを使用したファラデー回転子は、波長分散係数およびファラデー回転係数が大きいので、光の透過距離が短くて済み、より小型の素子を使用して構成することができるので、光の透過損失を小さくすることができる。例えば、飽和磁化状態のビスマス鉄ガーネット結晶中で、波長帯域  $700\text{ nm} \sim 800\text{ nm}$  の光を磁場方向に進ませると上端と下端では偏光面方向の偏差が  $1\text{ cm}$  当り約  $18000^\circ$  にも達する。従って上記結晶の厚みを  $50\text{ }\mu\text{ m}$  にすると、旋光角分散の大きさがちょうど  $90^\circ$  程度になる。

#### 【0054】

図3は、本実施例の光制御装置の作用を模式的に説明する図面である。

たとえば青、緑、赤の3波長成分を含む直線偏光入射光1が旋光分散素子3を透過すると、入射光1に含まれる各波長成分毎に旋光による偏光面の回転角が異なるので、含まれる色ごとに偏光面角度の異なる直線偏光4が得られる。検光子7を回転させて透過偏光面の方向を目的とするたとえば緑の波長成分が有する偏光角に合わせて、旋光子3を透過した直線偏光4を入射させると、各波長成分の透過偏光面に対する方向余弦成分しか検光子7を透過しないので、緑の光強度が最も大きい出射光8を得ることができる。このように、検光子7により特定波長の光強度が大きい出射光を生成することができる。

#### 【0055】

なお、検光子7を透過する偏光面角度には旋光による波長分散の幅があるので、入射光の偏光面角度と検光子の透過偏光面角度の方向余弦を考慮することにより透過光の色調を調整することができる。

また、検光子7の姿勢を固定して、旋光分散素子3に印加する磁場を調整して磁化を変化させることにより旋光角度を変えるようにしても同様の特性を持った出射光8を得ることができる。さらに、検光子7の回転設定と旋光分散素子3の磁化調整を同時に行ってもよいことはいうまでもない。

#### 【0056】

図4は、本実施例の光制御装置において、波長成分毎の空間光強度を制御する手法の概念を説明するブロック図である。本実施例の光制御装置は各種照明・表示や各種プロセス制御等に利用することができる。

光を制御する手法は2通り有り、第1の方法は検光子7の偏光成分選択方向を光軸まわりに回転させることにより、波長分散型旋光子3で旋光分散した光の波長成分毎の空間光強度の大きさ又は比率を変化させる手法である。また、第2の方法は旋光分散型旋光子3の旋光分散角又は旋光角の大きさを変えることにより、波長成分毎の空間光強度の大きさ又は比率を変化させる手法である。

#### 【0057】

図4のブロック図において、圧力、温度、特定波長の光強度など、対象物の状況を測定する各種センサ21が設けられていて、センサ21が発生する検出信号23がパソコン等から構成された制御装置22に伝送される。制御装置22は検出信号23の内容を判断して、それに適合する制御信号24を生成し、検光子7または旋光分散型旋光子3の駆動装置に発信する。制御信号24を受けると、検光子7の場合は偏光成分選択方向を光軸まわりに回転させ、また、波長分散型旋光子3の場合は旋光分散角又は旋光角の大きさを変える。こうして、所望の波長成分が所望の光強度を有するようにした出射光8を発生させることができる。

## 【0058】

図5には、さらに、液晶などの偏光面回転子から成る空間光変調素子5を設けて、波長別に異なった空間光強度分布を有する光を得るようにした光制御装置11のブロック図を示す。

図5に示した光制御装置11は、波長分散型旋光子3、入射光の偏光面に任意の回転角空間分布を与えることができる空間光変調素子5、および検光子7を備える。

本実施例に用いる空間光変調素子5は、多数の区画に分割されていて、それぞれの区画毎に直線偏光の偏光面に独立した任意の回転を与えるように構成された空間光変調素子である。代表的なものに、ネマティック液晶の捻れネマティック(TN)効果を利用したTN液晶がある。

## 【0059】

TN液晶の基本構成は、1対の透明電極の間にネマティック液晶を10 $\mu$ m程度の厚さにサンドイッチしたもので、透明電極間に加える印加電圧の大きさを変えて透過する直線偏光に与える旋光角を調節する。

図6はTN液晶における入射直線偏光の旋光回転角度の電圧依存性を示す。電極間に3Vから8Vの電圧を印加することにより旋光回転角を90°から0°の間で調整することができる。したがって、空間光変調素子5は2次元空間上にマトリックス状に配置されたセルごとに独立に透過光に与える旋光角を設定することができる。

こうして、空間光変調素子5により、直線偏光が入射する2次元空間上に任意の旋光角回転パターンを設定することができる。

## 【0060】

図7は、このようにして設定する旋光角回転パターンの典型的な例を示す図面である。図7(a)は2次元空間中のあるセルについて透過する光の偏光面を90°回転させ、その他のセルでは回転させないようにしたときの2値化分布の例を示す図面であり、図7(b)は中心に近いほど回転角を大きくし外側に近いほど回転角が小さくなるようにした、中間調分布の例を示す図面である。これらのパターンは各セルの印加電圧を調整することにより自由に設定することができる。

## 【0061】

図5の光制御装置11では、複数の波長成分から成る直線偏光の入射光1を波長分散型旋光子3に透過させ波長成分毎に異なった偏光面回転角を与えた後、空間光変調素子5に照射する。空間光変調素子5は、入射面上の各セルごとに偏光面の回転角が設定されているので、セルに入射する複数の波長成分を含んだ各波長成分ごとの直線偏光4にはさらに空間光変調素子5による偏光回転角が加算される。空間光変調素子5を出射した光のうち検光子7の透過偏光面角度に平行な偏光成分だけが検光子7を透過して出射光8として光制御装置11の外に取り出される。

## 【0062】

たとえば青、緑、赤の3波長成分を含む直線偏光1に対して、旋光子3を通して色ごとに偏光面の傾きに差異を与えた後に、空間光変調素子5に入射すると、空間光変調素子5は区画ごとに独立に旋光角を与えることができるので、それぞれの区画で青と緑と赤のいずれかを選択してその波長成分について偏光面角度に適合する旋光角を設定することにより、たとえば図8に示すように、各色成分がそれぞれ異なる2次元形状を持つようにすることができる。

ただし、検光子7は透過偏光面角度に平行な成分を透過させるので、空間光変調素子5が対象とする偏光面の傾きに対して偏光面が直交していない限り幾分か成分が検光子7を透過する。図8に例示した関係では、青と赤の偏光角が互いに直交するので検光子により互いの光成分を完全に分離することが可能であるが、緑の成分は青や赤に対して45°の偏光面角度差があるので、赤および青に関して互いに完全に分離できない漏れ成分を有する。

## 【0063】

空間光変調素子5は、多数の区画に分割されていて、それぞれの区画毎に直線偏光の偏

光面に独立した任意の回転を与えるように構成されているので、各区画毎の透明電極間に印加する電圧を調整することにより、また波長分散型旋光子 3 による波長分散角を調整することにより、多数の波長成分毎に様々な空間光強度分布のパターンを作り出すことができる。

#### 【0064】

図 9 は、上記光制御装置において、空間光変調素子 5 によって波長成分毎の空間光強度を制御する場合の手法概念を説明するブロック図である。

各種センサ 21 で検出した圧力、温度、特定波長の光強度などの対象物の状況を表わす信号は、制御装置 22 に伝送される。制御装置 22 において検出信号 23 の内容を判断して生成した制御信号 24 を空間光変調素子 5 の駆動装置に発信する。空間光変調素子 5 は制御信号 24 にしたがって旋光角の大きさを調整する。

空間光変調素子 5 は一様な 2 次元空間分布を有する単一素子であってもよく、また多数の区画に分割されてそれぞれの区画で旋光回転角を独立に調整可能な素子であってもよい。空間光変調素子 5 が単一素子で構成される場合は光制御装置 11 の出射光 8 は光強度および色調が空間的に一様であり、また多数の区画に分割された素子である場合は光制御装置 11 の出射光 8 に波長毎の異なる光強度空間分布および色調の空間分布を与えることが可能である。

#### 【0065】

なお、この光制御装置 11 では、旋光子 3 で波長ごとに異なる偏光角を与えれば、空間光変調素子 5 により検光子 7 を透過する波長ごとの偏光各成分の割合を変化させて、出射光 8 の色調や波長成分ごとの光強度を調整することができるので、旋光子 3 は使用に際して旋光角を調整するような複雑なものではなく、予め、磁化強度や素子の厚みなどを選択して固定したものであってもよい。

例えば、入射光として青と緑と赤の成分を含む直線偏光を使用する場合に、青と赤の旋光角の波長分散（旋光回転角の差）の大きさを  $90^\circ$  とし、その中間色である緑の旋光角の波長分散の大きさを中間の  $45^\circ$  とすることができる。すると、たとえば空間光変調素子 11 の各区画における旋光回転角を  $90^\circ$  の差が生じるように設定したとすれば、入射した赤と青の直線偏光成分が出射するときの光の空間光強度分布は互いに反転したパターンとなり、また中間色の緑は一様な空間分布となる。

#### 【0066】

しかし、波長分散型旋光子 3 の波長分散角の大きさや空間光変調素子 5 の各区画毎の偏光回転角は任意に設定することができるので、実際の利用に際しては、光制御装置 11 に入射する光のパワースペクトルおよび各波長毎の位相の調整を考慮に入れた上で、利用目的に合わせて各波長毎の空間強度分布の最適な組み合わせを選定することができる。

また、これら光制御装置 9, 11 は、複数の波長成分から成る直線偏光を入射光 1 として、波長による旋光分散特性を有する旋光子 3 に透過させ、波長毎の偏光面回転角を変えた後、液晶などの偏光面回転子から成る空間光変調素子 5 を透過させ、波長毎に空間強度分布の異なった出射光 8 を得られるようにしたものである。

#### 【0067】

図 10 は、図 5 の構成において、旋光子 3 の前に偏光子 6 を付加したときの光制御装置 12 の作用を模式的に説明する図面である。各種レーザを用いた直線偏光 1 の代わりに、任意の偏光入射光 2 を使用したときにも、入射光 2 が光制御装置 12 内の偏光子 6 に入射すると任意偏光成分の内特定の直線偏光成分のみ透過するので、後は図 3 に表示した光制御装置 11 と同じメカニズムにより、検光子 7 通過後の各波長成分毎の空間強度の異なった出射光 8 が得られる。

#### 【0068】

上記各実施形態の光制御装置 9, 11 はいずれも、偏光子 6 を利用することにより、極めて自由に入射光を選択することができるようになり、普通の白熱灯や蛍光灯からの光や、エレクトロルミネッセンスや発光ダイオードから出射された光などを利用することができる。

また光源のスペクトルは白色光などの連続スペクトルや各種輝線スペクトル、赤、緑、青の光の三原色であってもよい。さらに、入射光はコヒーレント光、インコヒーレント光および部分コヒーレント光のいずれであってもよい。

#### 【0069】

本実施例の光制御装置によって生成した光は、波長成分ごとに異なる空間パターンおよび光強度分布を持たせることができ、しかもこれらパターンや光強度分布は簡単にかつ連続的に制御することができる。

したがって、本実施例の光制御装置は、広告塔、展示場、舞台、噴水、飲食店、商店、遊技機、工場や発電所の制御装置、自動車、鉄道、船舶、航空機などの交通手段、などにおける各種照明、または各種表示用光源として利用することができる。

#### 【0070】

また、光制御装置の出力位置における出射光を直接観察することによる利用に加えて、さらに集光光学系を用いて焦点に収束することにより、エネルギーの時間的空間的分布を利用することもできる。

光制御装置の出力面には、各波長成分ごとに異なる空間光強度分布を有する光が現れ、近視野像が形成される。光制御装置の出力光は、フレネルホイヘンスの原理により、空間光変調素子5を透過した点から放射された光波が伝搬・干渉して、所定の到達面において近視野像に対応した光強度分布、すなわち遠視野像を形成する。この遠視野像は、到達面における光エネルギーの作用を表す。

#### 【0071】

したがって、近視野像と遠視野像の関係を把握して、所望の遠視野像に対応する近視野像を形成するように光学素子を調整すれば、作用点において希望のエネルギー分布を得ることができる。

近視野像と遠視野像の関係はシミュレーションによっても確認することができる。

図11から図20は、偏光面回転角空間分布を制御する場合における近視野像と遠視野像の関係をシミュレーションで求めた結果の一部を示す図面である。

シミュレーションでは、一様な光強度分布を持った直線偏光入射光が直径2cmの円形開口を透過して入射するものとし、1辺が2cmの領域を100×100の区画に等分割して演算した。

また、直線偏光の偏光角は演算領域の1辺に平行な軸を基準として決められ、旋光子による波長ごとの旋光分散により生じる。

#### 【0072】

図11から図18は、光制御装置の出力面における光強度が基準とする特定の偏光角に関してガウス分布となるようにした空間光変調方法を用いた場合の関係例を示している。

ここで、ガウス分布関数を

$$A = \exp(-r^2/B^2)$$

とする。Aは光の振幅、rは光軸からの距離(=  $(x^2 + y^2)^{1/2}$ )、Bを形状パラメータとする。なお、Bは0.5に設定した。

#### 【0073】

偏光角が0°のときの近視野像を図11に示すような立体的なガウス分布に設定すると、図12に示すような半値幅が小さくなったガウス分布形状の遠視野像を得ることができる。

また、偏光角が45°の偏光に対して、光軸を通る面における断面が図13に示すような3次元ガウス分布を示す近視野像を形成するような設定をすると、遠視野像は図14に示したように光軸上に高い光強度ピークを有し側部に小さなピークを添えたような断面を有するガウス形状となる。

さらに、偏光角が90°のときに、図15に示すように中心部が0になるような3次元ガウス分布を示すような近視野像を設定すると、遠視野像は図16に示すような光軸上にピークを有する光強度分布をもつようになる。

#### 【0074】

図17は、上記の近視野像の断面プロフィールを偏光角に対して連続化してプロットすることにより3次元表示したものである。これら近視野像に対応する遠視野像は、図18に示すように、偏光角が大きくなるにつれて光軸上のピークが鋭くなるような変化をすることが分かった。

旋光分散素子によって偏光角が波長にしたがって変化するように構成されているので、偏光角に基づいて変化する近視野像を設定することは、波長によって近視野像を変化させることを意味する。こうした偏光角により変化する近視野像に基づいて得られる遠視野像もまた、波長によって変化するものとなる。

#### 【0075】

図19と図20はそれぞれ、入射光の偏光角が $0^\circ$ の場合に、近視野像における空間光変調が1次ベッセル関数で表現される分布を持つように設定され、これに対応したリング状の遠視野像を得るようにしたときの、近視野像と遠視野像の例を示したものである。

ベッセル関数分布における光強度 $I$ は、 $r$ を光軸からの距離、 $\epsilon$ を遮光板の半径パラメータ( $0 < \epsilon < 1$ )として、

$$I = I_0 \left( 2 J_1(r) / r - \epsilon^2 \times 2 J_1(\epsilon r) / \epsilon r \right)^2$$

と表すことができる。 $J_1$ は1次のベッセル関数である。

図19の近視野像を形成させると、遠視野像は、図20に示すようなドーナツ形状を呈することになる。

#### 【0076】

このように、近視野像と遠視野像の関係を予め把握することにより、適当な近視野像すなわち光制御装置の出力面における空間光強度分布を形成して、希望の遠視野像を得ることができる。こうして予め設定された所定の空間光強度分布を有する光エネルギーを対象物に照射することにより、目的の光反応を起こさせることができる。

#### 【実施例2】

##### 【0077】

本発明第2の実施例の光制御装置は、さらに波長別位相変調素子を導入することにより、波長毎に空間強度分布に加えて時間波形または波長毎の位相を調整した出射光を得られるようにしたものである。

図21は本実施例の光制御装置の基本構成例を示す概念図である。図21に示した光制御装置13は、図1に示した光制御装置9に対して最上流位置に波長別位相変調素子17を付加したもので、直線偏光入射光1が波長別位相変調素子17を透過することにより波長成分毎の位相を所定の関係に調整した後に、第1実施例の光制御装置と同様に旋光分散特性を有する旋光子3を透過させ波長毎の偏光面回転角を変えてから、検光子7を透過させることにより、各波長成分毎に空間光強度と位相が異なった出射光8を生成する。

##### 【0078】

波長別位相変調素子17の例として、フーリエ光シンセシス光学系と呼ばれるパルス整形光学系がある。図22はフーリエ光シンセシス光学系の概念図である。

フーリエ光シンセシス光学系は、入射側回折格子18、入射側集光光学系19、空間位置ごとに光変調ができる空間光変調素子20、出射側集光光学系19'、出射側回折格子18'を備え、空間光変調素子20を挟んで回折格子とレンズそれぞれ1対を焦点距離ずつ離して置いて4-f配置にして構成した超短光パルスのフーリエ整形系である。

空間光変調素子20は、透過光の光路長を制御するアレイ型液晶光変調器などを利用した、光軸に垂直な方向に分離した光成分の光路長をそれぞれ独立に調整できる素子であり、スペクトル分解された入射光の各波長成分毎の光路長を変化させて位相を所定の値に調整することができる。

##### 【0079】

超短光パルスなど、多波長成分が同時に重なった入射光1は入射側回折格子18で角度分散を受け、フーリエ変換配置の集光光学系19によってフーリエ変換面に伝送される。フーリエ変換面では並行ビームとして光軸に垂直な方向にスペクトル展開され空間的1次元方向に波長成分が配列されることになり、フーリエ変換面に配置された空間光変調素子

5により個々の波長成分に対して位相の遅れあるいは振幅の減少が与えられる。空間光変調素子5を透過した後は、光学的逆フーリエ変換を受けて、出射側回折格子18'から出射する光パルス4は、波長ごとに位相が別々に調整され、等価的に時間域での位相変調を受けたものになっている。

#### 【0080】

この光線は、さらに旋光子3と検光子7を透過することにより、空間光強度が調整され、最終的に時間域での位相・振幅調整を受けた出射光8として出力される。

フーリエ光シンセシス光学系は、超短光パルスに対しても有効に波長別に位相調整ができる能力を備えているが、もっと遅い事象であっても有効であり、また簡単のため、青緑赤の3原色を含む光について説明したが、連続スペクトルを有する光でも同様に波長分離して位相変調を行えることは言うまでもない。

#### 【0081】

図23は本実施例の光制御装置13の波長成分毎の空間光強度を制御する手法の概念図である。本実施例の光制御装置13は、各種照明・表示および各種プロセス制御等に利用することができる。各種センサ21で検出した圧力、温度、特定波長の光強度などの対象物の状況を表わす検出信号23は制御装置22に伝送され、制御装置22で検出信号23の内容に適合した制御信号24を生成して波長別位相変調素子17および旋光子3に発信する。制御信号24を受けると、波長別位相変調素子17は波長成分毎の位相を調整し、また旋光子3は旋光角の大きさを変える。

なお、旋光子3の代わりにあるいはこれに加えて検光子7の回転角度の調整を行うようにしてもよいことは言うまでもない。

#### 【0082】

図24は、さらに、旋光子3と検光子7の間に、入射光の偏光面に任意の回転角空間分布を与えることができる空間光変調素子5を備えた、本実施例の別の態様である光制御装置15を示す概念図である。

図24の光制御装置15では、複数の波長成分から成る直線偏光の入射光1を波長別位相変調素子17に通して波長成分ごとの位相を調整した後に、波長分散型旋光子3に透過させ波長成分毎に異なった偏光面回転角を与え、さらに空間光変調素子5に照射して空間的に入射光の偏光面回転角の空間分布を調整して、検光子7を透過する光を選択する。

このようにして、出射光8に含まれる波長成分を選択し、また波長成分ごとの光強度を調整して、出射光8の色調や光強度を適宜制御すると共に、波長成分ごとの時間的相対位置を変化させることができ、特に光エネルギーを利用する分野において極めて多様な応用が可能になる。

#### 【0083】

なお、本実施例の光制御装置13, 15においても、入射光の入射位置に偏光子を配置することによって、直線偏光に限らず任意の波長成分から成る任意の偏光を入射光として偏光子を透過させて直線偏光成分のみを抽出して利用することができることは、第1実施例の光制御装置と同様である。

本実施例の光制御装置13, 15では、空間光変調素子5が波長別空間光強度を変える機能を有するが、同時に波長別位相変調素子17の波長別位相変調機能を備えるため、波長毎の精密な空間光強度分布の調整と同時に時間波形も調整可能となり、数個の光学素子の組合せから構成される簡単な光学系により、いわゆる光の精密な時空制御を容易に実現することが可能となる。本光制御装置の光の精密な時空制御機能は、光を利用したプロセス制御に関して極めて有用である。

#### 【実施例3】

#### 【0084】

本発明第3の実施例の光制御装置は、空間光位相分布の制御が可能な空間光変調素子を利用して、近視野位相分布を調整することにより遠視野像を所望のものとして、レーザプロセス制御を行えるようにしたものである。

図25は本実施例の光制御装置の基本構成例を示す概念図である。図25に示した光制

御装置 51 は、波長によって旋光角が変わる旋光分散素子 3 と空間光位相変調素子 52 を備えて、入射光 1 が旋光子 3 を透過した後に空間光位相変調素子 52 を透過するようにした光学系である。

【0085】

空間光位相変調素子 52 は、光の進行軸に垂直な面を規定する直交 2 軸の座標軸のうち 1 方向の偏光成分のみの光路長を空間的に独立に変えられるようにすることにより偏光面角度が異なる光に対して空間光位相変調を受ける偏光成分と空間光位相変調を受けない偏光成分の割合が異なる出射光 53 を生じさせる光学素子で、たとえばネマチック液晶の屈折率異方性を利用した 2 次元光位相変調器によって構成することができる。ネマチック液晶は細長い分子形態をしており、分子長軸の方向に位相遅延を受ける異常光線軸を有し、これに直交する方向に位相遅延を受けない常光線軸を有する屈折率異方性を持っている。

2 次元光位相変調器は、屈折率異方性のあるネマチック液晶分子を光軸に沿って分子軸が光軸に垂直な同一方向に平行になるように配置したネマチック液晶装置である。液晶装置の液晶は、電界が印加されないときには配向膜で定められた方向を向いている。

【0086】

液晶層を挟む透明電極に電圧が印加されると印加電圧に対応して液晶分子軸が光軸方向に傾き、分子軸方向に偏光した光に位相の変化を与えるが、分子軸に対して垂直の方向に偏光した光は分子軸が変化しても位相が変化しない。

入射する直線偏光は、偏光方向に応じて分子長軸に平行な偏光成分と分子長軸に垂直な偏光成分の割合が異なるので、入射光の偏光面角度によって異なる位相遅延を生じる。また、印加電圧によっても異なる位相遅延を生じる。

【0087】

そこで、空間光位相変調素子の 2 次元位置にそれぞれ適当な電圧を印加して所定の位相遅延パターンを形成しておいて、複数の波長成分からなる直線偏光を入射し旋光子を透過させる。すると入射光は波長ごとに異なる偏光面回転角が与えられる。この光線は位相遅延が 2 次元パターンとして設定された空間光位相変調素子に入射する。空間光位相変調素子を出た光線は、入射面上の位置ごとにそれぞれ独立に設定した印加電圧に従い、また、波長ごとに異なる偏光面角度に従って、それぞれ異なる位相差が与えられる。

【0088】

本実施例の光制御装置 51 を用いて、複数の波長成分からなる直線偏光 1 を入射して旋光子 3 を透過させ、各波長成分ごとにそれぞれ独自の旋光角を有するようにした後に、入射面上の部位ごとに位相変化量を調整した空間光位相変調素子 52 に旋光子 3 を透過した光 4 を入射させると、各波長成分ごとに偏光面の傾きが異なるので、2 個の直交座標軸のうち 1 軸方向の偏光成分のみの光路長が空間的に独立に変えることができ、偏光面角度の異なる光に対して空間光位相変調を受ける偏光成分と空間光位相変調を受けない偏光成分の割合が異なる出射光 53 として出力される。

空間光位相変調素子 52 の出力面には、各波長成分ごとに空間光位相変調を受けた偏光成分と空間光位相変調を受けない偏光成分の割合が異なる近視野位相分布が形成される。空間光位相変調素子 52 の出力光は、集光光学系で焦点面に集光することによって、焦点面に近視野位相分布に対応した光強度分布、すなわち遠視野像を形成する。この遠視野像は、焦点面における光エネルギーの作用を表す。

【0089】

図 26 は、集光光学系により近視野像から遠視野像が形成される原理を説明する線図である。

集光光学系の焦点距離を  $f$  とすると、焦点を中心とした半径  $f$  の球面上に近視野の光強度分布および位相分布を光軸方向に投影させることにより初期の出射光条件を表現することができる。球面上の光は、フレネル・ホイヘンスの原理により伝搬して、焦点近傍に集光し遠視野像を形成する。

近視野像と遠視野像は、互いにフーリエ変換およびフーリエ逆変換の関係で結びついている。そこで、試験やシミュレーションに基づき近視野像と遠視野像の関係を把握して、

好ましい遠視野像に対応するように近視野像の空間光強度分布を設定することにより、焦点位置における光強度パターンを形成することができる。

#### 【0090】

図27から図36は、シミュレーションにより近視野像および近視野位相分布と遠視野像の関係を確認した結果の例を示す図面である。

本シミュレーションでは、遠視野像の中心に穴の開いた空間光強度分布が必要な場合を想定して、近視野像において光軸の周りに1回転したときに位相が $2\pi$ あるいはその整数倍変化するように空間光位相変調素子の位相回転操作を施した、いわゆる位相回転ビームを用いている。

#### 【0091】

図27は、本実施例の光制御装置において、入射光が平面波であって偏光角が $0^\circ$ である場合の近視野像における光強度分布を表示した立体座標図である。入射光は、直径2cmの円形分布をしており、光強度は $1\text{ W/cm}^2$ となっている。

図28は、入射光に与える位相回転を表示した図面である。空間光位相変調素子は、入射光に対して光軸の周りに $2\pi$ の位相回転を与えている。

図29は、図27の近視野像に対応する遠視野像の光強度分布を表示した立体座標図、図30はその遠視野像を軸を通る面で切った断面図である。遠視野像は、光軸位置で光強度が低下し、光軸を巡り軸から離れて壁ができたドーナツ形状を呈している。

図31は、入射光の偏光角が $20^\circ$ のときの遠視野像の断面図である。偏光角が異なるため、光軸上の窪みが小さくなっている。図32は、入射光の偏光面が $90^\circ$ であるときの遠視野像断面形状を表す図面である。光軸状の窪みはなくなって、かなり鋭いピークを示している。

#### 【0092】

図33は、近視野像の対称軸に関する光強度分布断面形状を、偏光角をパラメータとして表示した立体座標図である。近視野像の光強度は、動径方向の距離にもまた偏光角の大きさにも影響されず、同じ値を有するように設定する。

図34は、図33に対応して、偏光角をパラメータとして遠視野像の光強度分布を表示した立体座標図である。光強度が同じ場合でも、偏光角が小さい間は光軸上に窪みを持ったドーナツ状の光強度分布をしており、偏光角が大きくなると光軸上に突出したピークが現れ、偏光角が大きくなるにつれてピークが鋭くなることが分かる。

#### 【0093】

また、図35は、いわゆる位相回転ビームにおいて、ガウス関数分布型の近視野像を入射光の偏光角を1軸とした立体座標上に表した図面である。

図36は、図35の近視野像を集光光学系で焦点位置に収束させたときの遠視野像を表した立体座標図面である。入射光が平面波であるときとよく似た遠視野像光強度分布変化状態になるが、平面波の場合と比較すると、ガウス関数分布型の近視野像では壁の高さが小さくなり、また光強度ピークの値が小さくなることが分かる。

このように、偏光角によって異なる光強度パターンを設定することができるので、複数の波長成分を含む直線偏光を入射光として使用して、いろいろな光エネルギーパターンを形成させて、たとえばレーザープロセス制御など光出力制御の自由度を高めることができる。

#### 【0094】

空間光位相変調素子を用いるときは、出射光を検光子に通さないで遠視野像の空間光強度分布を制御することが可能なので、光を減衰させずに効率よく光エネルギーを利用することができる。

なお、旋光子の前に偏光子を配置すれば、旋光子に入射する光線の偏光面を選択することができるので、直線偏光でない光線を使っても同様の効果を得ることができる。

また図示はしないが、空間光位相変調素子や旋光子を制御する機構は、第1実施例における制御装置などと同様であって、各種センサにより外部条件を取り込み、これを判断して適正な操作信号を空間光位相変調素子あるいは旋光子に伝送して、所望の光出力を行う



## 【0095】

本実施例で得られる光パルスの時間空間構造の制御を施した多波長成分を含有するレーザパルスを物質に照射して、溶融や蒸発などの熱反応、原子核反応、プラズマ反応、化学反応、同位体分離、蛍光発生などのプロセスを生起させることができる。こうしたプロセスにより、レーザ加工、化学物質や元素の合成、分解、分離などや、原子、分子、イオン、電子、陽電子、中性子、クラスターなどの粒子生成や、X線、 $\gamma$ 線などの電磁波の発生や、蛍光の発生・制御を行なわせることができる。

これらの技術は、半導体、化学、エネルギー、医療、機械などの産業分野や、粒子加速器や生体物質の検査などの基礎研究などへの応用が期待されている。

## 【実施例4】

## 【0096】

上記各実施例の光制御装置は、先に説明した通り、いろいろな光源について使用することができる。たとえば、波長の異なる複数のレーザを発振する多波長発振レーザ装置を用いて、光制御を行うことができる。レーザは、パルス光発振型であってもよいし、また連続光発振型であってもよい。

図37は、単一の波長を持つレーザ光を発生するレーザ装置を複数組み合わせ、必要とする数の異なる波長のレーザとして光制御装置に入射させるようにした、光制御システムの例を示すブロック図である。

## 【0097】

たとえば3台のレーザ装置25からそれぞれ発振される波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ のレーザ光はそれぞれ反射鏡26またはダイクロイックミラー(DM)27で反射させて最終的に1本のレーザビームに合成して、上記各実施例の光制御装置9, 11, 12, 13, 15, 51に入射させる。

ダイクロイックミラーは、特定の波長帯域を選択的に反射または透過するように製作されたミラーであり、利用する波長に合わせて、損失が少なく光を有効利用できるような光学系として設計されている。

## 【0098】

図37の光源は波長の異なった単一波長発振レーザ装置3台から構成される場合を表示しているが、一部または全てのレーザが多波長発振レーザであってもよいし、レーザ装置が2台または4台以上あってもよいことは言うまでもない。

また、図示しないパルス発振器からの信号をトリガーとして複数台のレーザ発振の同期を取るようにすることができる。トリガー信号は遅延回路を通して各レーザ発振の位相を調整してもよい。

## 【実施例5】

## 【0099】

また、光制御装置に入射させる光は超短光パルスであってもよい。

超短光パルスは、フェムト秒等の極く短い時間に多数の波長成分を含む極めて高出力ピーク値の光が時間的に集中している。したがって、強いエネルギーに対する耐性を考慮した光学素子の配置に課題がある。また、超短光パルスについて自由度の高い変調処理を行うためには、波長に基づいて分離した上で波長ごとに光パルスの時間空間構造をそれぞれ調整することが好ましい。

そこで、超短光パルスを対象とする場合は、光制御装置の光学要素の配置に配慮する必要がある。また、超短光パルス光を光制御装置で直接変調処理するのではなく、波長別位相変調素子により上流側で波長ごとに所定の位相差を与えてから、下流側で光制御装置により波長ごとに異なる空間変調をすることにより、いわゆる超短光パルスの時空制御を行っても良い。

## 【0100】

ここで、波長別位相変調素子とは、入射光に含まれている波長成分毎の相対位相を調整する機器をいい、先に図22によって説明したような回折格子対と空間光変調素子で構成

されたパルス整形光学系や、複屈折結晶と音響光学素子から構成された光音響分散フィルターなどがよく知られている。

波長別位相変調素子の機能は、波長ごとに位相を調整することにより各波長成分を時間軸方向の所定位置に設定して、光制御システムが形成する光パルスの時間波形を利用形態に適するようにすることである。

本光制御システムにより、波長別位相変調素子と光制御装置を組合わせた簡単な単一光学系を用いて、従来は存在しなかった極めて自由度の高い高精度な光パルスの時空制御が可能になる。このため、様々な産業分野において利用価値の高い光制御システムとなる。

#### 【0101】

図38は、チャープパルス増幅器を備えた超短光パルスレーザ装置を光源として超短光パルスを変調する光制御システムの例を示すブロック図である。

チャープパルス増幅器は、超短光パルスを超高強度のパルスに増幅するための光学系であり、使用する光学素子が耐光強度を超えた光で破損しないように、光パルスの時間幅を広げて尖頭値を下げた状態で光増幅を行なうものである。

#### 【0102】

超短パルスレーザ装置28から放射される超短パルスレーザは、波長別位相変調素子17で波長ごとに相互に所定の時間差を持つように変調された上でパルスストレッチャー29に入射し、パルス時間幅を広げて光エネルギー密度を低下させた後に、光制御装置11に入射させる。

光制御装置11は波長分散型旋光子3と空間光変調素子5と検光子7で構成され、入射した波長ごとに時間差を持つ超短光パルスについて波長ごとに偏光面角度を変調し、さらに空間位置ごとに偏光面方向を調整して検光子を透過する部分を分別して出射光とする。光制御装置11から出力した光パルスは、光増幅器30で増幅した後でパルスコンデンサー31に供給されて、短いパルスに戻され出力される。

#### 【0103】

最後に得られた光パルスは、波長ごとに空間光強度分布が所要の形態に変成されていると同時に、波長ごとに所定の時間間隔を持って時間軸に沿って並んだパルス列になっている。波長ごとのパルスの空間光強度分布と時間配列は、光制御システムを構成する要素の調整によりある程度自由に制御することができる。

#### 【0104】

チャープパルス増幅においては、パルスストレッチャー後で光増幅前の位置は光強度の最も弱い位置であるので、光学系の耐光強度の見地から考えて光制御装置11を挿入するのに適した位置である。また、光強度が比較的弱いので光学素子の耐光強度を考えてもビーム径を小さくすることができるので、光学素子を小型化することができて有利である。

なお、光制御装置11は、代表的に旋光子3と空間光変調素子5と検光子7で構成された光制御装置として表示したが、他の実施例に係る光制御装置であっても良い。

#### 【0105】

たとえば、図39に示すように、先に図25で説明した旋光子3と空間光位相変調素子52を用いた光制御装置51を利用しても良い。空間光位相変調素子52を用いると、検光子を使わないので、光損失が少なくなりレーザの発振効率が向上する。また、近視野像における強度分布を一樣にすることができ、局所的に光強度の大きな部分が生じないのでパルスコンプレッサー31における回折格子の損傷を回避することができる。

#### 【0106】

図40は、光制御装置11の波長分散型旋光子3をパルスストレッチャー29と光増幅器30の間に挿入し、空間光変調素子5および検光子7の部分を増幅器30とパルスコンプレッサー31の間に挿入して構成した場合の光制御システムを示すブロック図である。

レーザの光増幅器において、入射光と出射光の間の増幅特性は一般的には非線形特性であることが知られている。したがって、図38に示した光制御システムでは、空間光変調素子5における光強度分布は、光増幅の非線形特性の影響を考慮する必要がありシステムの制御が複雑になる。そこで、空間光変調素子5の部分を切り離して光増幅器30の後段

に挿入すると、光強度分布が変化しないのでシステムの制御が簡単になり、かつ必要な光強度分布が正確に得られる。

【0107】

なお、空間光変調素子5は、光学素子の耐光強度を考慮して、光増幅後において最も光強度の弱い位置になる増幅器30とパルスコンプレッサー31の間に挿入している。

光制御装置として、空間光位相変調素子を用いたものを利用するときは、図41に示すように、空間光変調素子と検光子に代えて空間光位相変調素子52を光増幅器30とパルスコンプレッサー31の間に挿入すればよい。

【実施例6】

【0108】

次に、本発明の光制御装置をレーザプラズマX線発生に適用した実施例を説明する。

レーザプラズマX線は短パルス高強度レーザを金属などのターゲットに照射した場合に発生する。レーザプラズマからX線が発生するメカニズムを以下に述べる。レーザがターゲットを照射したとき、照射されたターゲット部分はプラズマ化するが、そのときレーザの大部分のエネルギーは最初にプラズマ中の電子が吸収する。したがって、レーザ照射後のプラズマ中には高温の電子と低温のイオンが共存しており、高温の電子はイオンの内殻電子を励起する。励起された内殻電子が下準位に緩和するときに準位差に相当する波長のX線が放出される。電子がイオンの内殻電子を励起するのに十分な温度を保持している間はプラズマはX線の放出を続ける。

【0109】

通常プラズマ中の電子は局所熱平衡状態にあり、電子の状態分布はボルツマン分布で近似することができる。電子温度が高すぎると内殻電子を励起するのに必要以上のエネルギーを持った電子が増加して特定波長のX線が発生するのに適さない状態となり、一方、電子温度が低すぎると内殻電子を励起するのに必要なエネルギーを有する電子数が少なくなる。

したがって、ターゲット材料に対応して、内殻電子が特定波長のX線を放出するのに最も適した電子温度が存在する。特定波長のX線発生に関する最適温度が存在することを考慮すれば、レーザプラズマX線発生制御においては、最適電子温度ができるだけ長時間かつできるだけ広い範囲にわたって持続することが理想である。

【0110】

図42にレーザプラズマ電子温度の特定波長のX線発生に関する理想的時間発展を表す概念図を示す。図は、横軸に空間的広がりを表し、縦軸に照射レーザ光32の光強度とプラズマの電子温度33を表す。図42(a)から(b)(c)の順に発展する間にプラズマ中の温度分布33がX線発生に関する最適温度レベル34を維持しながら広がっていくことが好ましい。

本実施例のレーザプラズマX線発生装置においては、ターゲットに集光した位置におけるレーザビームの空間光強度分布パターン32は、図42(a)に示すように、先にターゲットに到達する光パルスの先頭部分が光軸の中心部にエネルギーの集中した空間光強度分布をしており、図42(b)と(c)に示すように、後からターゲットに到達する一連の光パルス空間強度分布32が、レーザプラズマの膨張に追従して順次ビーム径が拡大しつつ中心部の光強度が弱く周辺部の光強度の強い円環状の空間分布をしていることが好ましい。

【0111】

ターゲットを照射するレーザ光パルスが上記のような空間光強度分布をとることにより、より広い空間領域およびより長い時間にわたって、レーザプラズマ中の電子温度33を特定波長のX線が発生するのに適した温度レベル34に保持することができて、目的とする波長のX線を効率よく発生させることができる。

本実施例の光制御装置により生成したレーザ光をターゲットに照射してX線が発生させるようにすれば、ターゲット位置におけるレーザ光の空間光強度分布と照射時間間隔を適宜調整することができるので、X線発生プロセスの設計を微細な点にわたって行なうこと

ができる。本実施例の光制御装置は、従来よりもレーザプラズマ最適制御に近い制御を、従来よりもシンプルな光学系により容易に実現することを可能にし、発生させるX線の特性を精密に制御することができる。

#### 【0112】

また、X線の強度特性として波長特性を測定し、目的とする特定波長におけるX線の強度の計測値に基づいて、レーザビームの強度分布および波長毎の位相調整を行なうことができるようにしてもよい。発生させるX線は目的によって決まる適正な波長成分が多く含まれるようにすることが好ましい。また、目的とする波長のX線強度を測定して、当該波長成分の強度が大きくなるように空間強度分布および波長毎の位相を調整するようにすることができる。

#### 【実施例7】

##### 【0113】

本発明の光制御装置によれば、レーザ光を変成して波長毎に空間光強度分布の異なる所定のパターンの光として発生させることができるので、この光を蛍光抑制 (STED: Stimulated Emission Depletion) 方式の超解像走査型レーザ蛍光顕微鏡に適用することができる。

図43は、超解像走査型レーザ蛍光顕微鏡 (STED) のメカニズムを説明する図面である。

STEDは、通常の走査型レーザ蛍光顕微鏡の分解能を向上させたものであって、励起光43を先行パルスとして試料中の蛍光分子励起領域44に照射し、蛍光分子を励起した直後の蛍光寿命よりも十分に短い時間しか経過しないうちに、蛍光と同波長のドーナツ形状の穴明きビームである蛍光抑制光45を後続パルスとして励起光43と同軸に照射して蛍光発光を抑制して、ドーナツの穴径の大きさに残って発光する蛍光46を検出する。

##### 【0114】

STEDでは、走査スポット径を観察時に小さくできるので顕微鏡の分解能が向上する。

従来のSTED方式レーザ蛍光顕微鏡は、超短パルスレーザを光パラメトリック増幅器 (OPO) で波長を調整した後2つに分岐して、一方の光を第2高調波発生 (SHG) で波長変換して蛍光励起用の光源とし、またもう一方の分岐光を蛍光抑制用のSTED光としてSHGで波長変換した蛍光励起用の光と同軸に合成していたので、複雑な光学系を必要としていた。

##### 【0115】

図44は、蛍光抑制方式レーザ蛍光顕微鏡 (STED) に本発明を適用した実施例の構成を示す図面である。

本実施例では、本発明の光制御装置を使って、光源光に含まれる広帯域スペクトル中の、試料の蛍光と同一の波長成分を分離し遅延させて誘導放出による蛍光を抑制する蛍光抑制光45として使用し、その他の波長の光は蛍光励起光43として使用する。

STEDの蛍光抑制誘導放出光は、穴明きビームであるので、位相回転ビームを使用することが好ましい。位相回転ビームを1方向から試料に照射すると観察部に回転力が加わるので、これを相殺するため、逆方向から同時に反対方向に位相回転する位相回転ビームを照射する。

##### 【0116】

本発明の光制御装置から出力された出射光8は、レンズ35で平行光に変成されビームスプリッタ36で2分され、反射鏡37を組み合わせると同じ光路長を持つように形成された光路を走行して、対物レンズ38で試料39に上下2方向から集光される。

試料39から放出される光は光路を逆にたどってレンズ35により収束され、ダイクロイックミラー40で反射して、ピンホール41を通過して検出器42に入射する。

##### 【0117】

本実施例のSTED方式レーザ蛍光顕微鏡は、単一の光学系で上記蛍光励起光43と蛍光抑制光45の2種類の光を供給することが可能となり、従来方式のSTEDと比較する

と構造の簡略化、装置のコスト、取り扱いの容易性など種々の点について有利である。

【産業上の利用可能性】

【0118】

本発明の光制御装置を用いることにより、波長別の空間光強度が連続的に変化するので、出射光の色調を多数の種類に容易に変えることができる。したがって、各種照明および各種表示用光源としてこれらの光を利用することができるので、各種産業における利用を促進する。

また、レーザパルスの空間強度分布および時間波形を同時に連続的かつ精密に調整することができるので、レーザ反応プロセスをより高度に制御することが可能になり、各種産業における光利用を促進する。

【0119】

さらに、本発明のX線発生装置を用いれば、レーザによりプラズマを発生してX線を放出させる場合に、X線の強度調整をすることができ、特に特定波長のX線の強度を選択的に調整することができる。さらに、走査型蛍光抑制 (STED: Stimulated Emission Depletion) 方式の超解像顕微鏡に本発明を適用して、単一の光学系で蛍光励起光および蛍光抑制光を発生させることができるので、装置を簡素化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0120】

【図1】 本発明第1実施例の光制御装置の基本構成図である。

【図2】 ビスマス鉄ガーネットにおける旋光回転角の波長分散係数を示す図面である。

【図3】 第1実施例の光制御装置の作用を模式的に説明するブロック図である。

【図4】 第1実施例の光制御装置において、波長成分毎の空間光強度を制御する手法の概念を説明するブロック図である。

【図5】 第1実施例の別の態様における光制御装置を示すブロック図である。

【図6】 TN液晶における旋光回転角度の電圧依存性を示すグラフである。

【図7】 第1実施例における旋光角回転パターンの典型的な例を示す図面である。

【図8】 第1実施例の光制御装置において、空間光変調素子が波長ごとに異なる空間光強度分布を与える機構の概念図である。

【図9】 第1実施例における空間光変調素子を含む光制御装置において、波長成分毎の空間光強度を制御する手法の概念を説明するブロック図である。

【図10】 第1実施例において偏光子を付加した光制御装置における制御手法を模式的に説明するブロック図である。

【図11】 第1実施例において偏光面回転角空間分布を制御する場合についてガウス分布型の近視野像の1例を示す3次元図面である。

【図12】 図11の近視野像に対応する遠視野像をシミュレーションで求めた結果を示す3次元図面である。

【図13】 近視野像の別の例を示す断面図である。

【図14】 図13の近視野像に対応する遠視野像を示す断面図である。

【図15】 近視野像のさらに別の例を示す断面図である。

【図16】 図15の近視野像に対応する遠視野像を示す断面図である。

【図17】 近視野像の断面プロファイルの3次元表示図面である。

【図18】 図17の近視野像に対応する遠視野像の断面プロファイルの3次元表示図面である。

【図19】 第1実施例において偏光面回転角空間分布を制御する場合において1次ベッセル関数型の近視野像の1例を示す3次元図面である。

【図20】 図19の近視野像に対応する遠視野像をシミュレーションで求めた結果を示す3次元図面である。

【図21】 本発明第2実施例の光制御装置の基本構成図である。

【図22】 フーリエ光シンセシス光学系の概念図である。

【図 2 3】 第 2 実施例の光制御装置の作用を模式的に説明するブロック図である。

【図 2 4】 第 2 実施例の別の態様における光制御装置を示すブロック図である。

【図 2 5】 第 3 実施例の光制御装置の作用を模式的に説明するブロック図である。

【図 2 6】 集光光学系により近視野像から遠視野像が形成される原理を説明する線図である。

【図 2 7】 第 3 実施例において入射光が平面波である場合の近視野像を表示した立体座標図である。

【図 2 8】 図 2 7 の入射光に与える位相回転を表示した図面である。

【図 2 9】 図 2 7 の近視野像に対応する遠視野像を表示した立体座標図である。

【図 3 0】 図 2 9 の遠視野像を軸を通る面で切った断面図である。

【図 3 1】 第 3 実施例において入射光の偏光角が  $20^\circ$  のときの遠視野像の断面図である。

【図 3 2】 第 3 実施例において入射光の偏光角が  $90^\circ$  のときの遠視野像の断面図である。

【図 3 3】 第 3 実施例において、さらに別の近視野像を表示した立体座標図である。

【図 3 4】 図 3 3 に対応する遠視野像を表示した立体座標図である。

【図 3 5】 第 3 実施例において、ガウス関数分布型の近視野像を入射光偏光角の変化に対して立体座標上に表した図面である。

【図 3 6】 図 3 5 近視野像を集光光学系で焦点位置に収束させたときの遠視野像を表した立体座標図面である。

【図 3 7】 第 4 実施例の光制御システムを示すブロック図である。

【図 3 8】 第 5 実施例の光制御システムの例を示すブロック図である。

【図 3 9】 図 3 8 のシステムにおいて空間光位相変調素子を用いた例を示すブロック図である。

【図 4 0】 第 5 実施例における別例を示すブロック図である。

【図 4 1】 図 4 0 のシステムにおいて空間光位相変調素子を用いた例を示すブロック図である。

【図 4 2】 第 6 実施例におけるレーザプラズマ電子温度変化の概念図を示す。

【図 4 3】 超解像走査型レーザ蛍光顕微鏡 (STEED) のメカニズムを説明する図面である。

【図 4 4】 第 7 実施例の STEED の構成を示すブロック図である。

#### 【符号の説明】

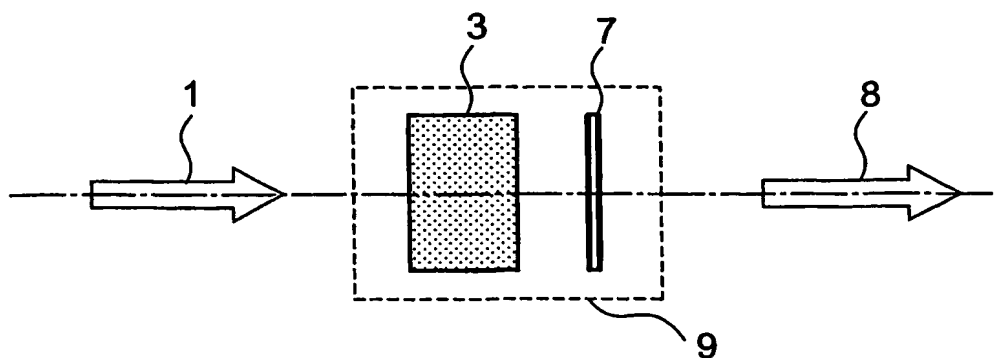
##### 【0121】

- 1 入射光 (直線偏光)
- 2 入射光 (任意偏光)
- 3 旋光分散素子または波長分散型旋光子
- 4 旋光子を透過した直線偏光
- 5 空間光変調素子
- 6 偏光子
- 7 検光子
- 8 出射光
- 9 光制御装置
- 11, 12, 13, 15 光制御装置
- 17 波長別位相変調素子
- 18, 18' 回折格子
- 19, 19' 集光光学系
- 20 空間光変調素子
- 21 センサ
- 22 制御装置
- 23 検出信号

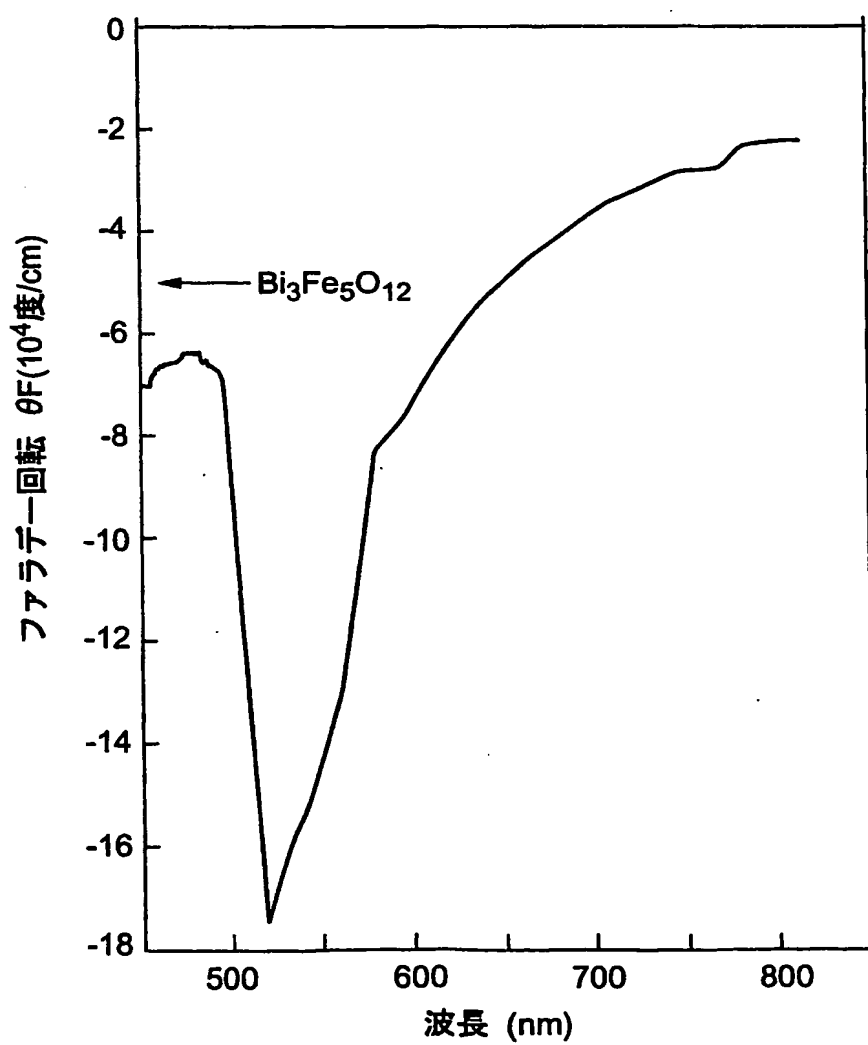
- 24 制御信号
- 25 レーザ装置
- 26 反射鏡
- 27 ダイクロイックミラー
- 28 超短パルスレーザ
- 29 パルスストレッチャー
- 30 光増幅器
- 31 パルスコンプレッサー
- 32 照射レーザ光強度分布
- 33 プラズマ中の電子温度分布
- 34 X線発生に関する最適温度レベル
- 35 レンズ
- 36 ビームスプリッタ
- 37 反射鏡
- 38 対物レンズ
- 39 試料
- 40 ダイクロイックミラー
- 41 ピンホール
- 42 検出器
- 43 励起光
- 44 蛍光分子励起領域
- 45 蛍光抑制光
- 46 蛍光
- 51 光制御装置
- 52 空間光位相変調素子
- 53 出射光

【書類名】図面

【図 1】

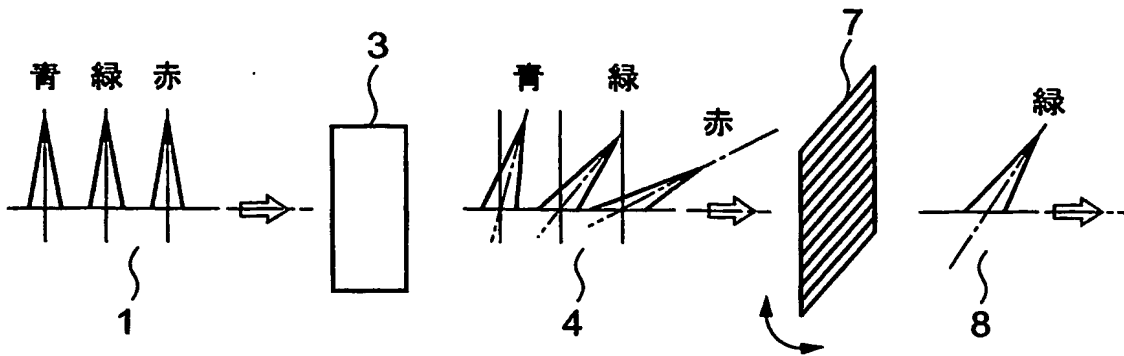


【図 2】

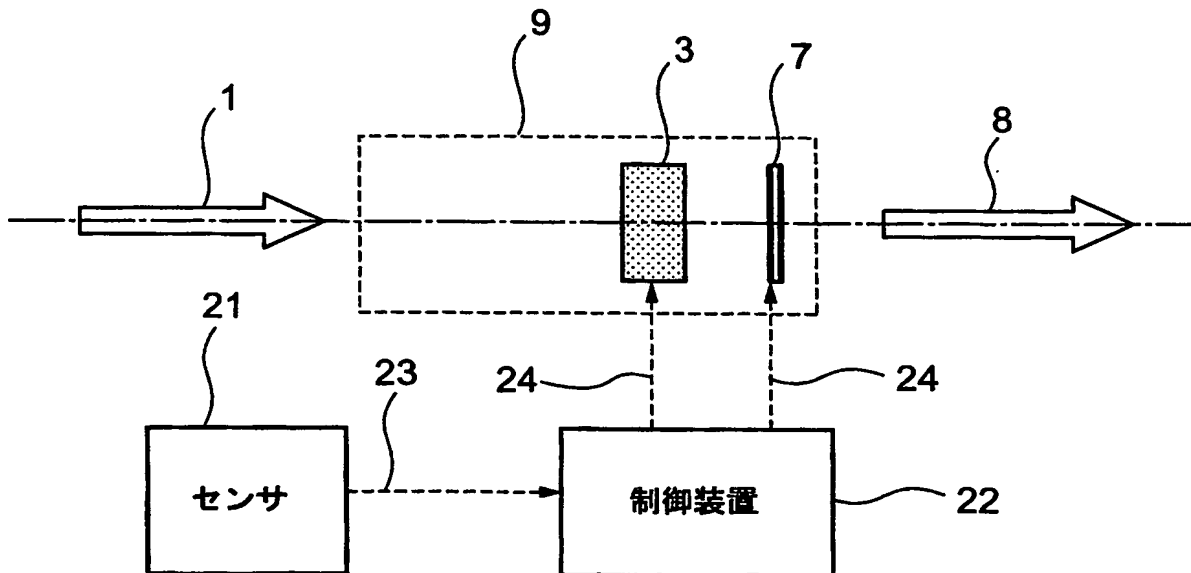




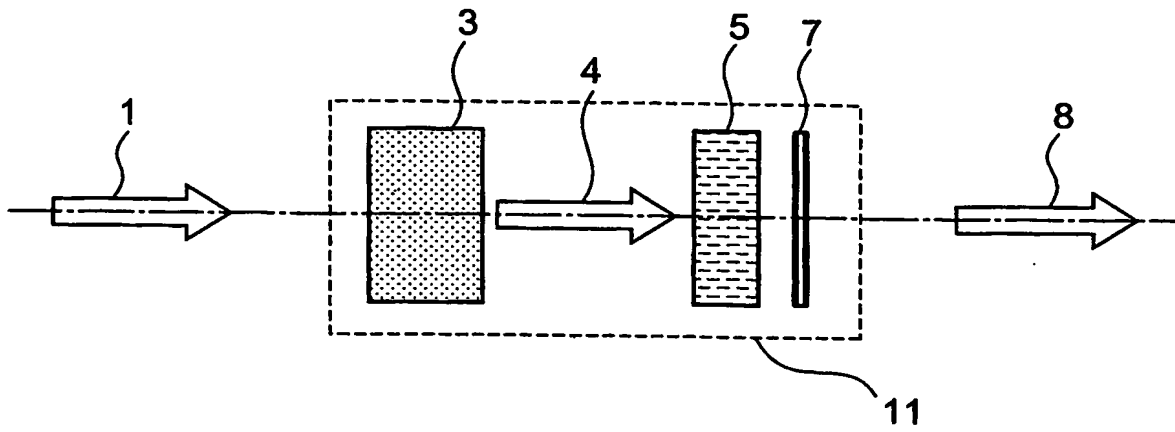
【図 3】



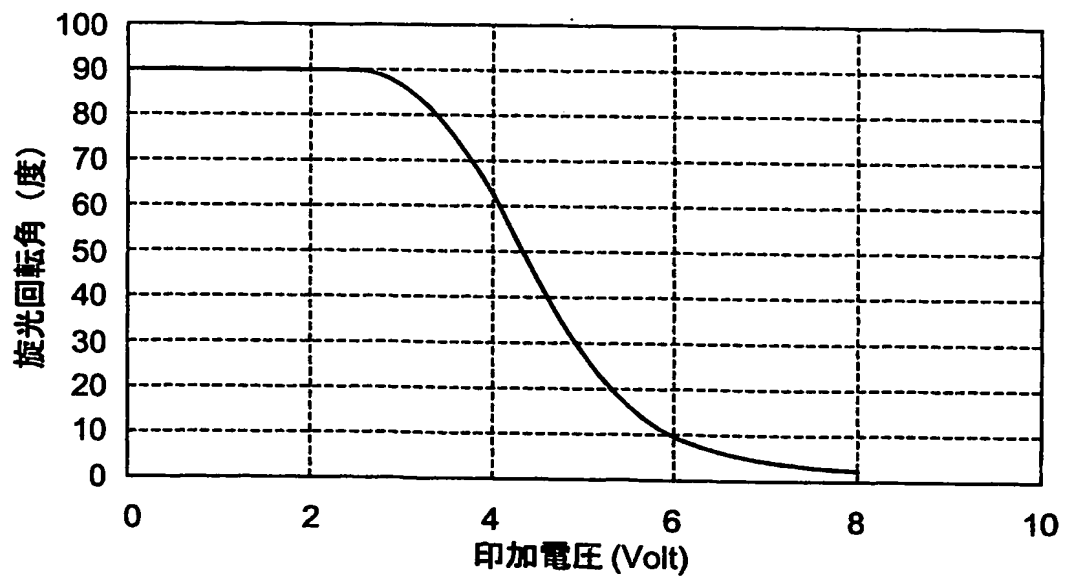
【図 4】



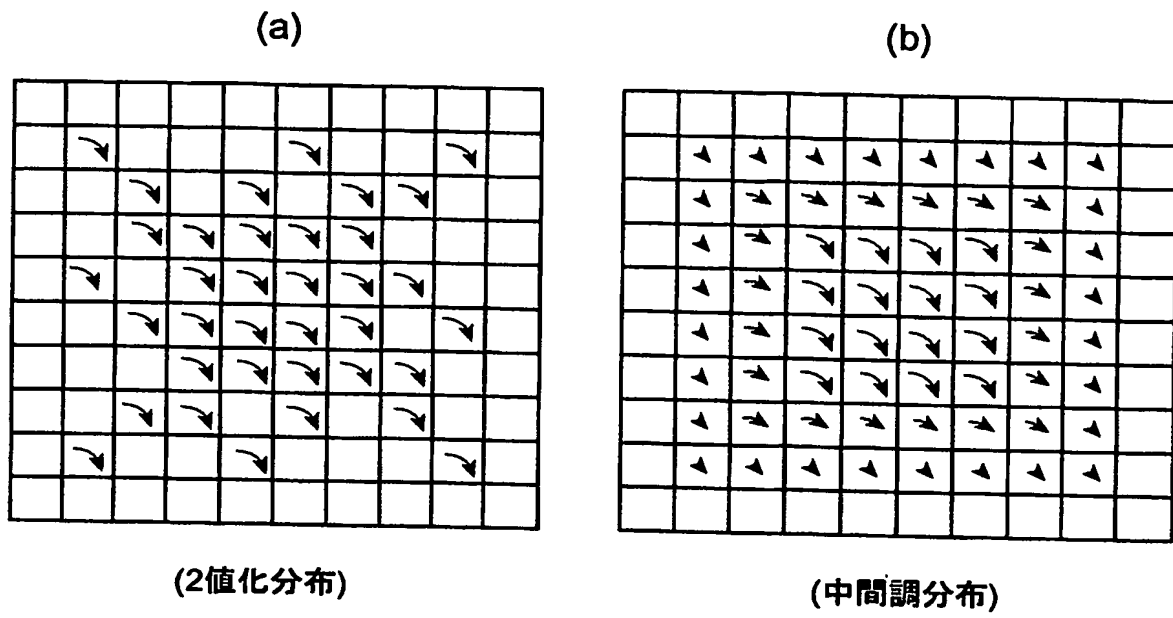
【図 5】



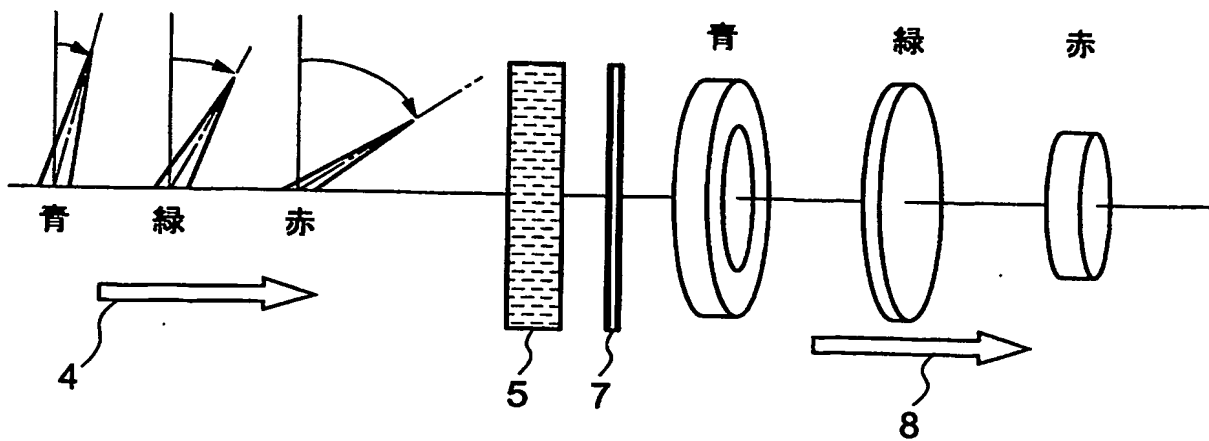
【図 6】



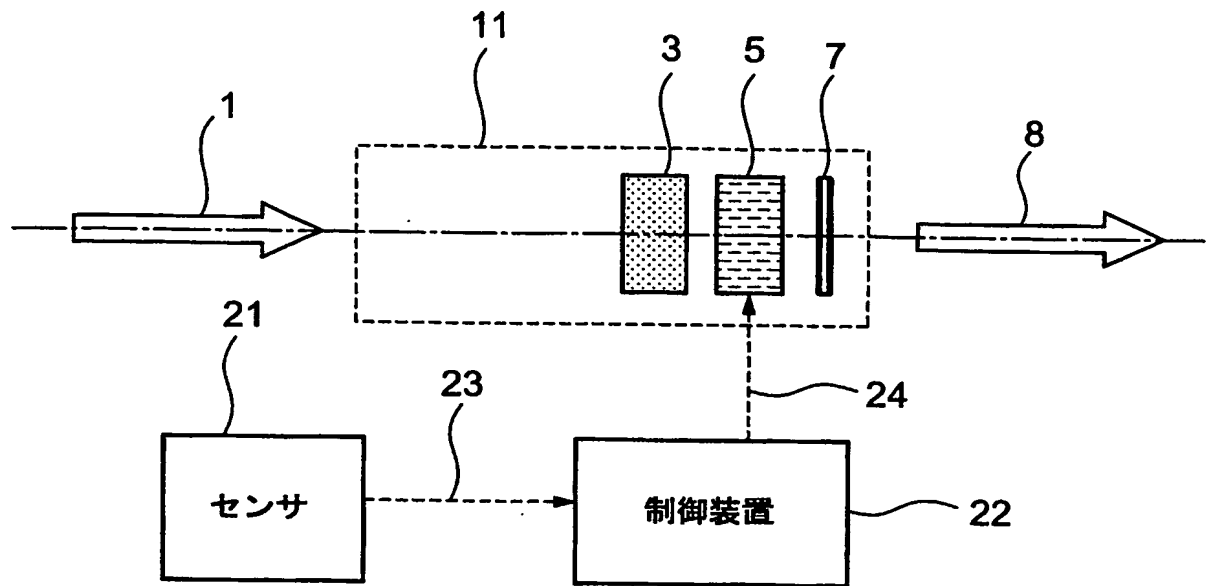
【図 7】



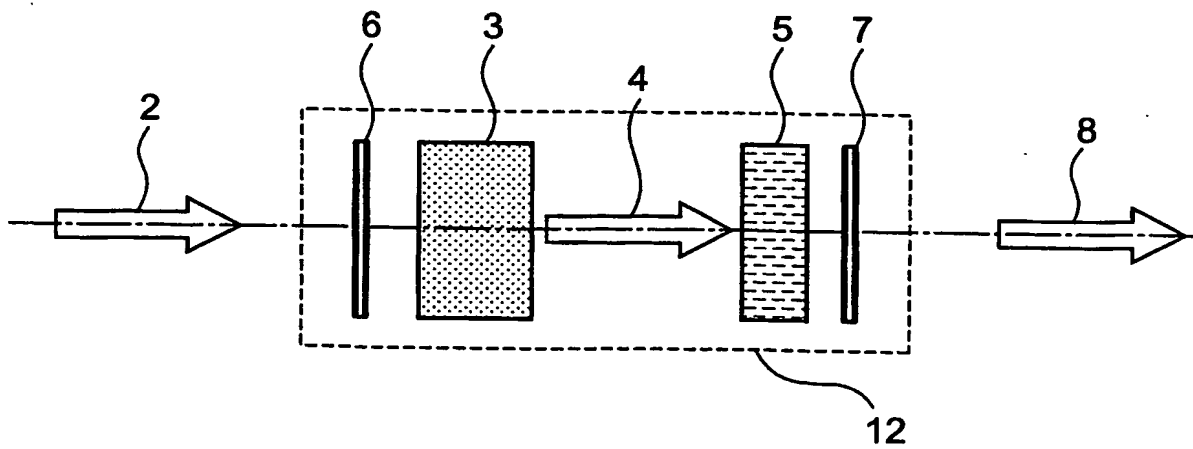
【図 8】



【図 9】

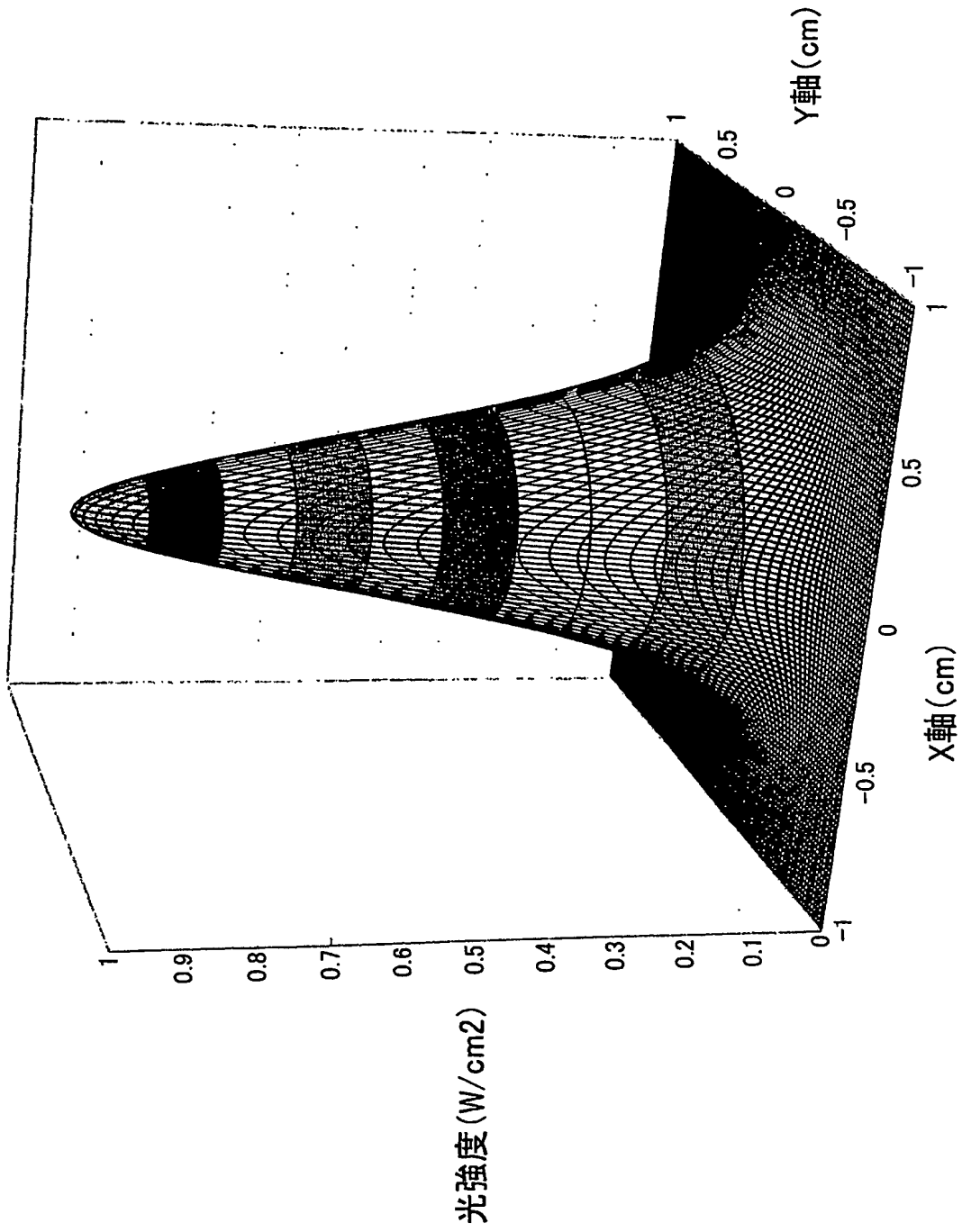


【図 10】



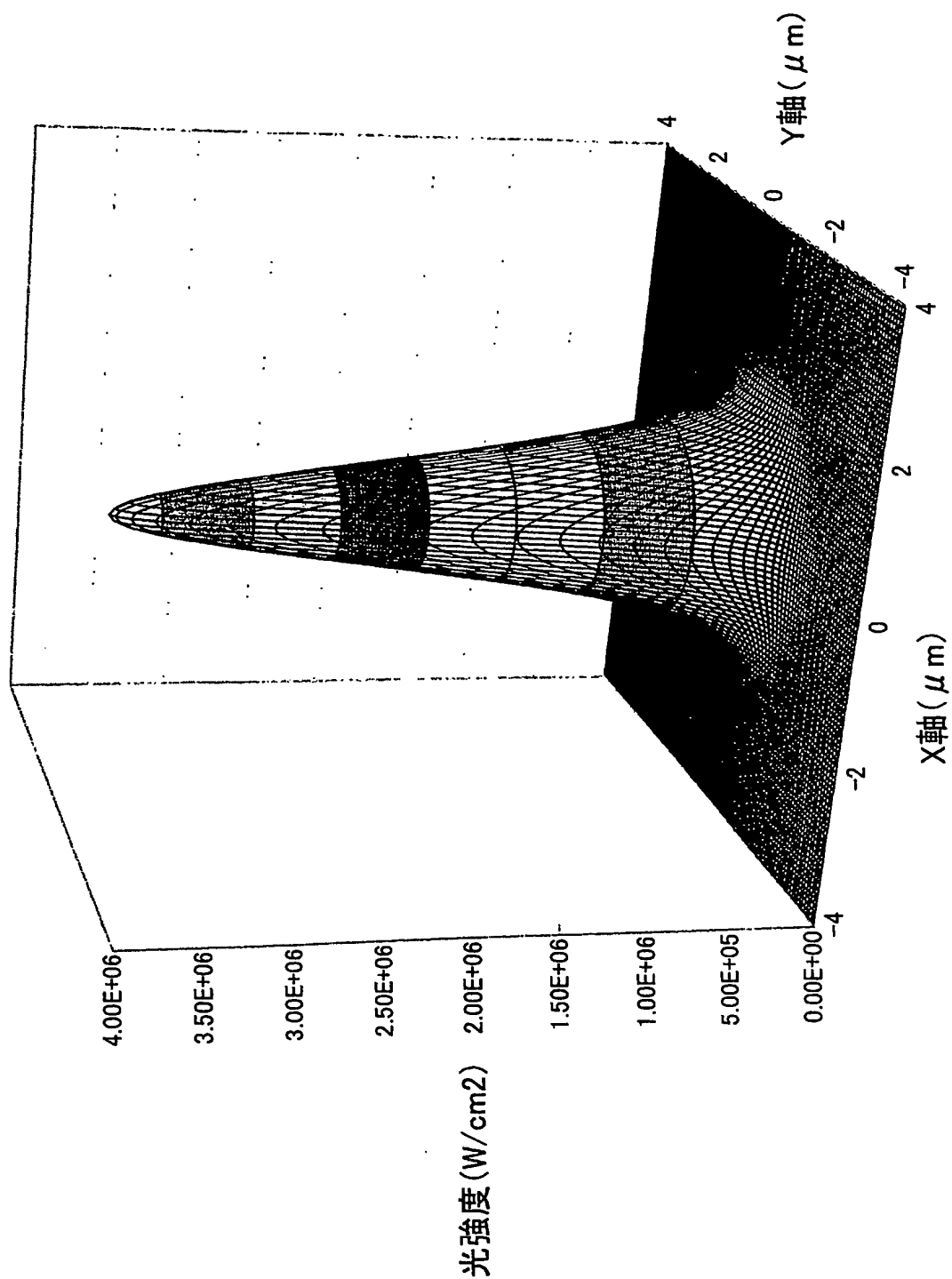
【図 11】

近視野像 (ガウス分布、偏光角 =  $0^\circ$ )



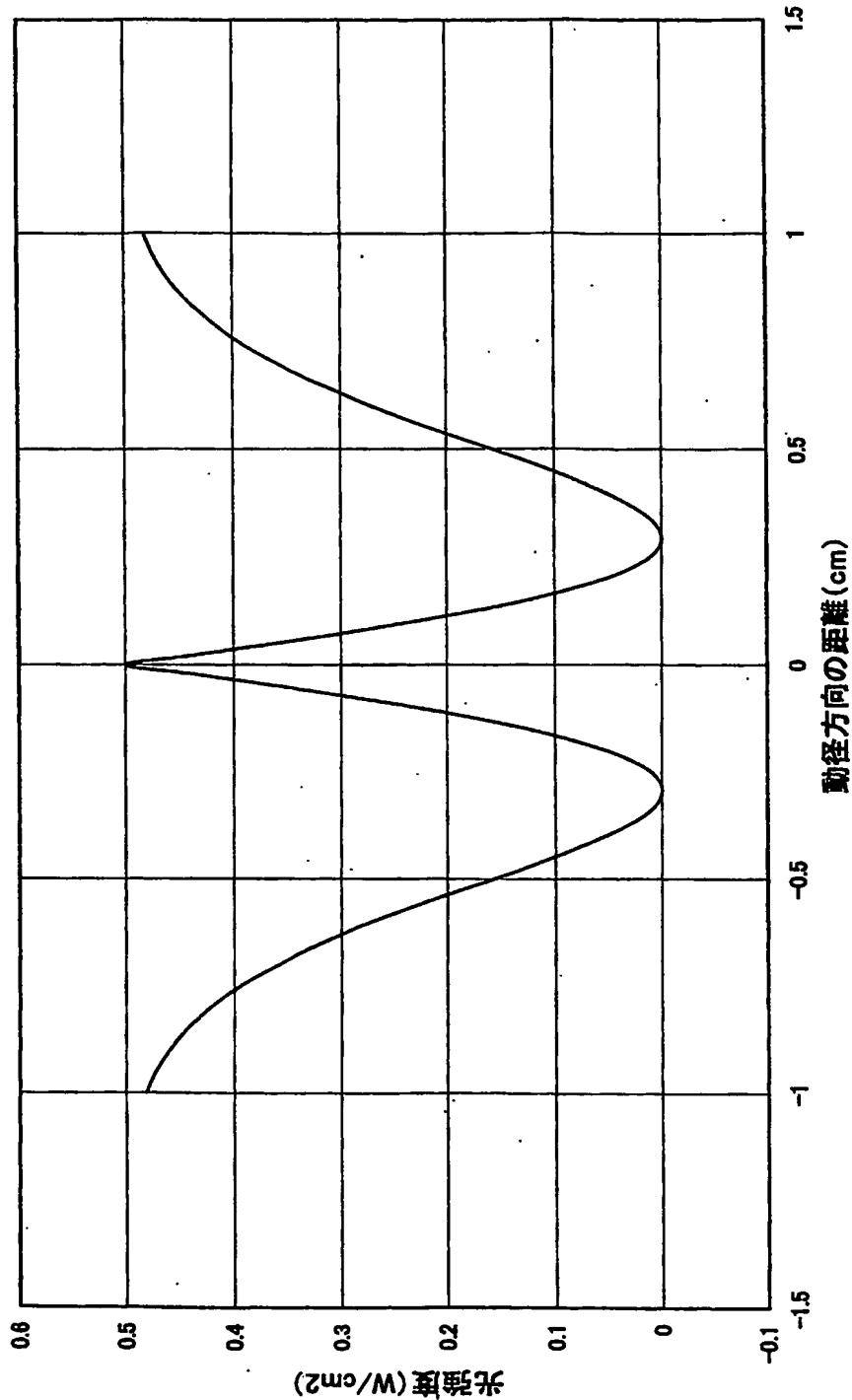
【図 12】

遠視野像(ガウス分布、偏光角=0°)



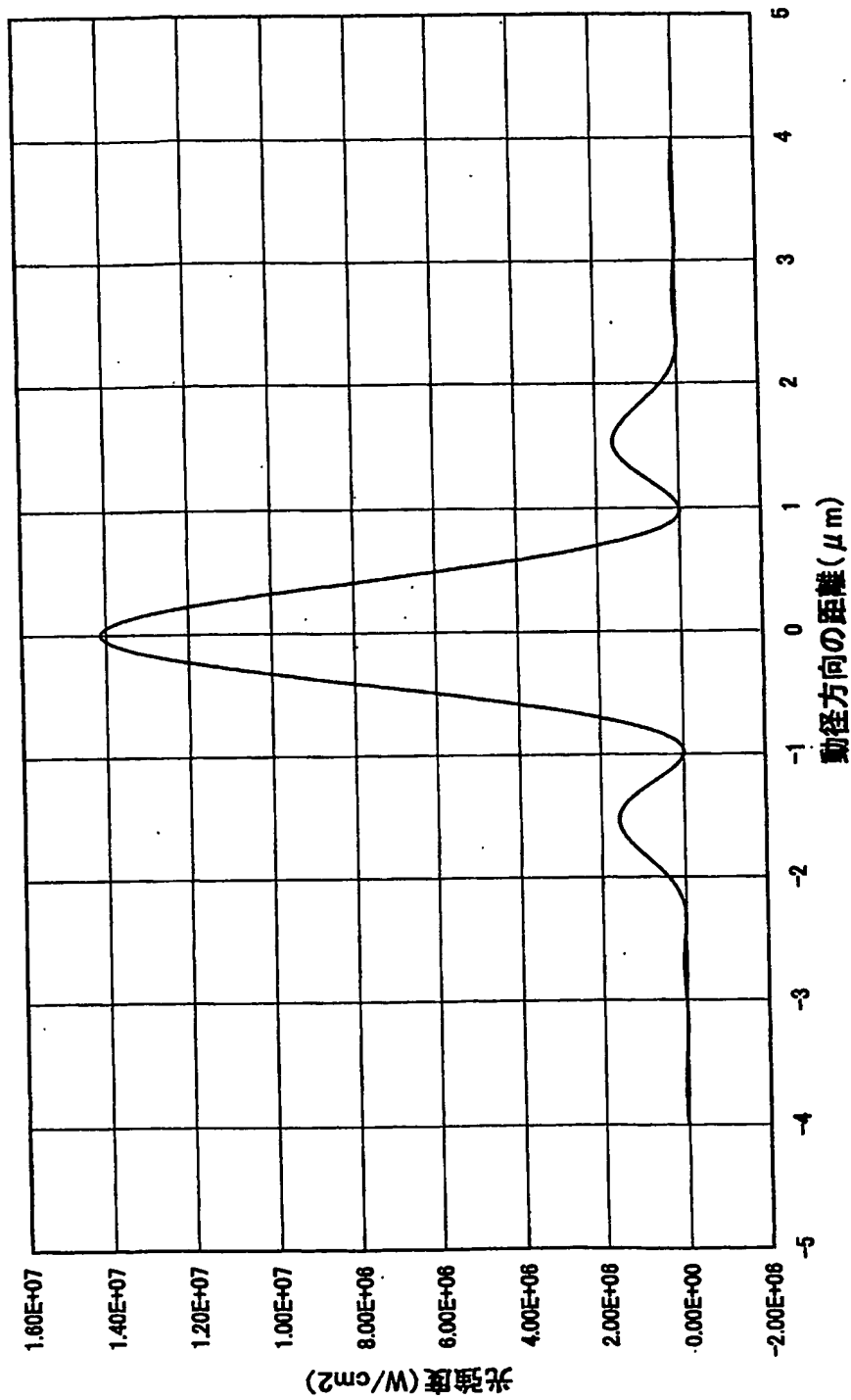
【図13】

近視野像断面形状(ガウス分布、偏光角=45°)



【図 14】

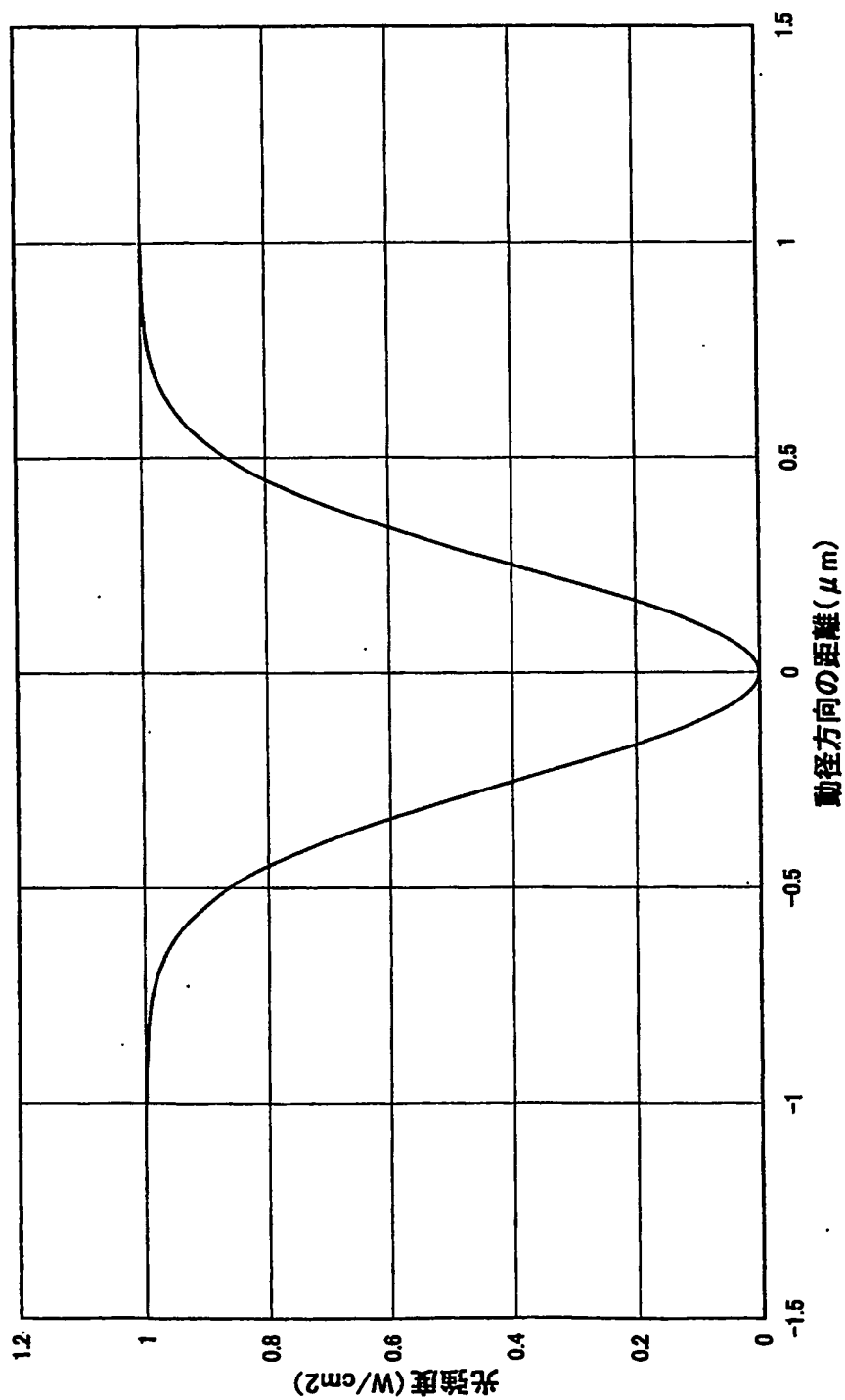
遠視野像断面形状(ガウス分布、偏光角=45°)





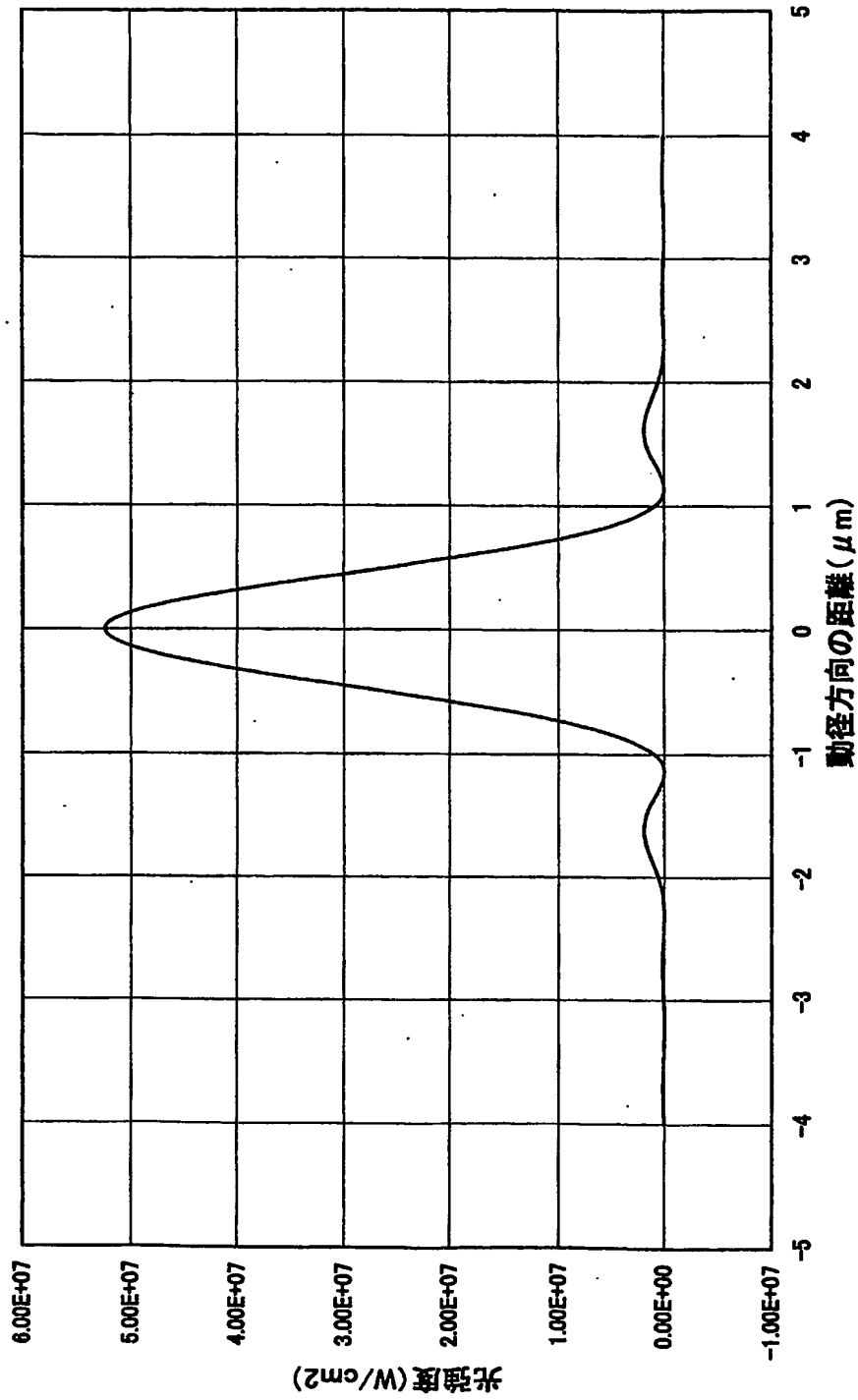
【図 15】

近視野像断面形状(ガウス分布、偏光角=90°)

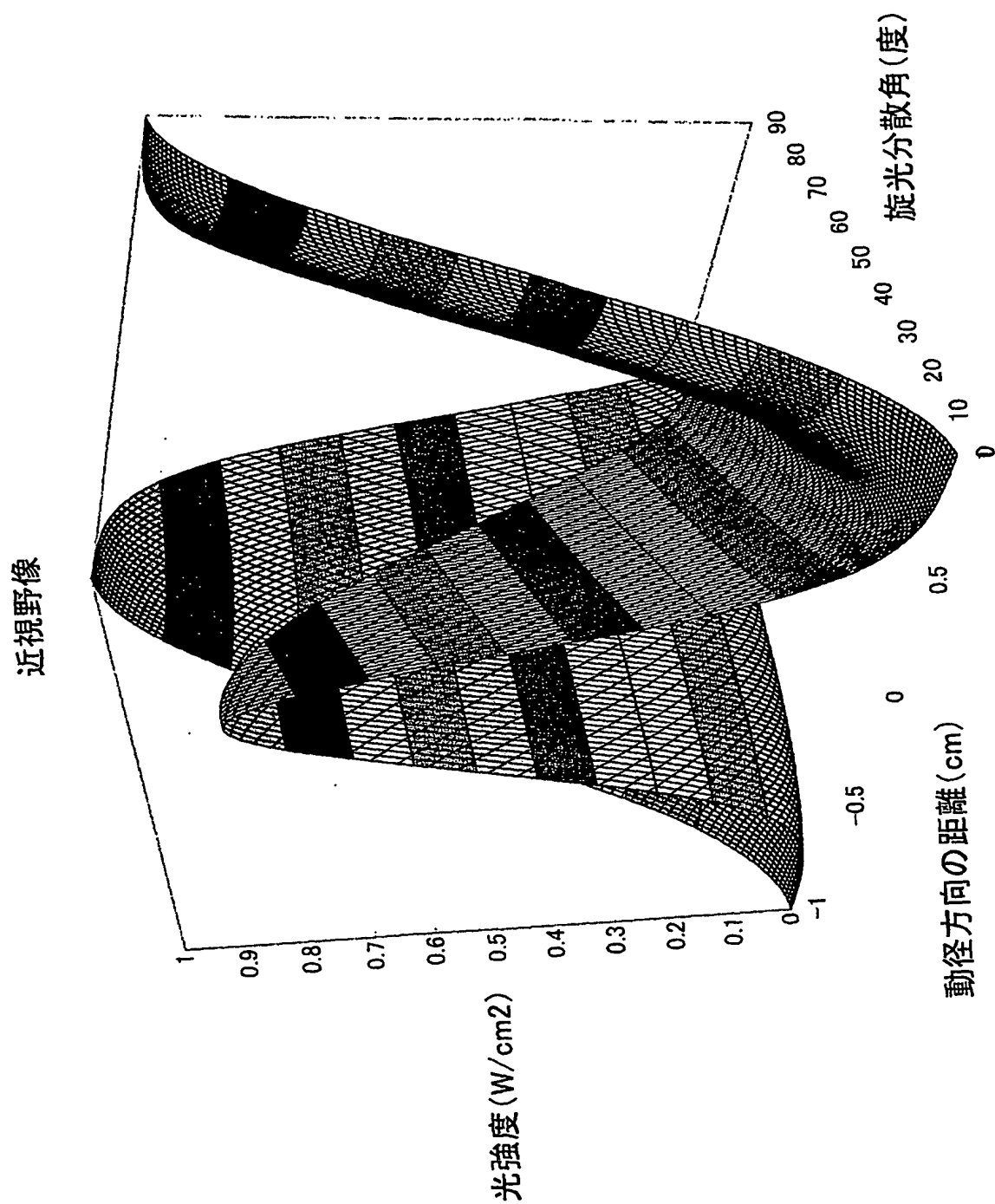


【図 16】

遠視野像断面形状(ガウス分布、偏光角=90°)

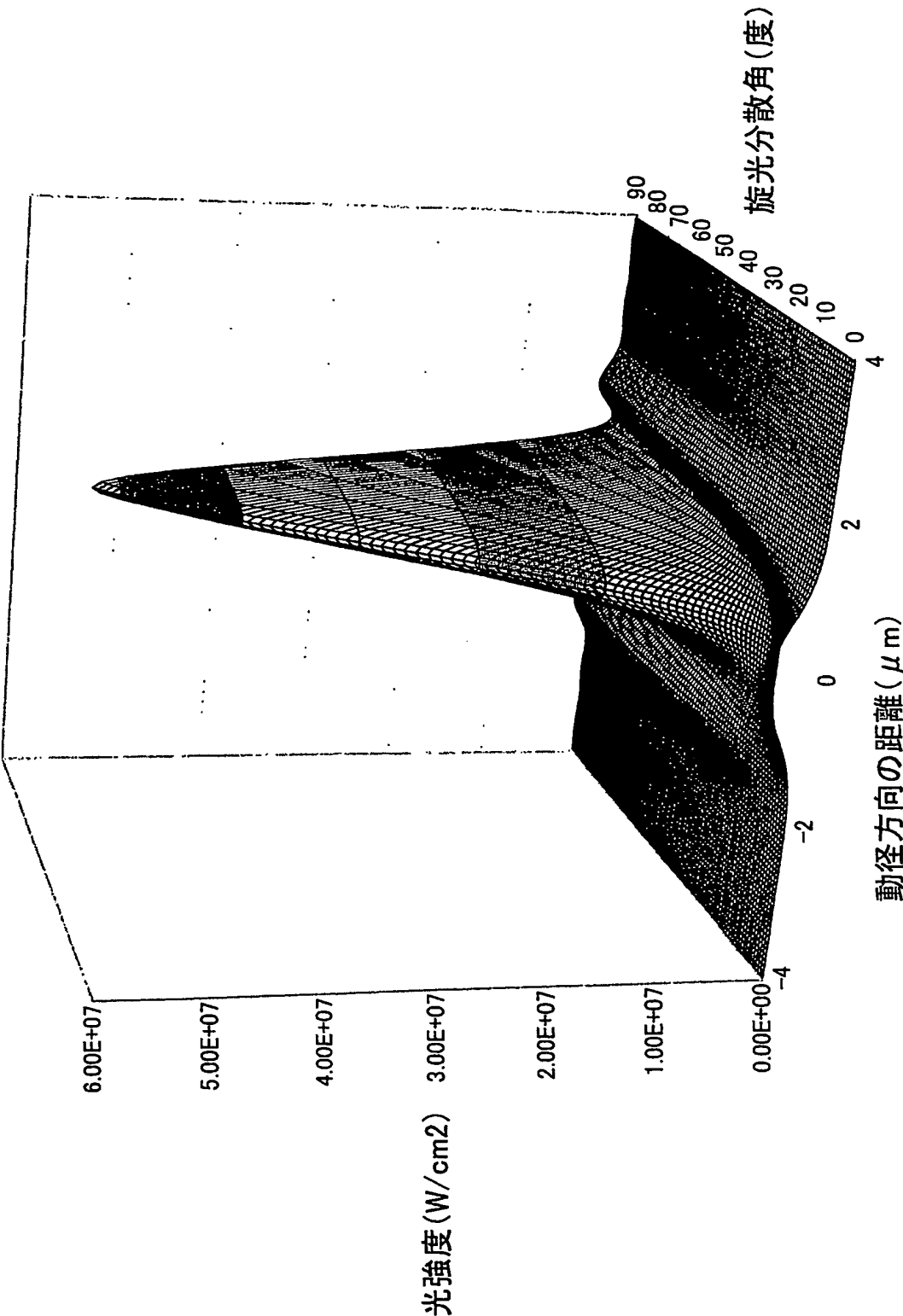


【図 17】

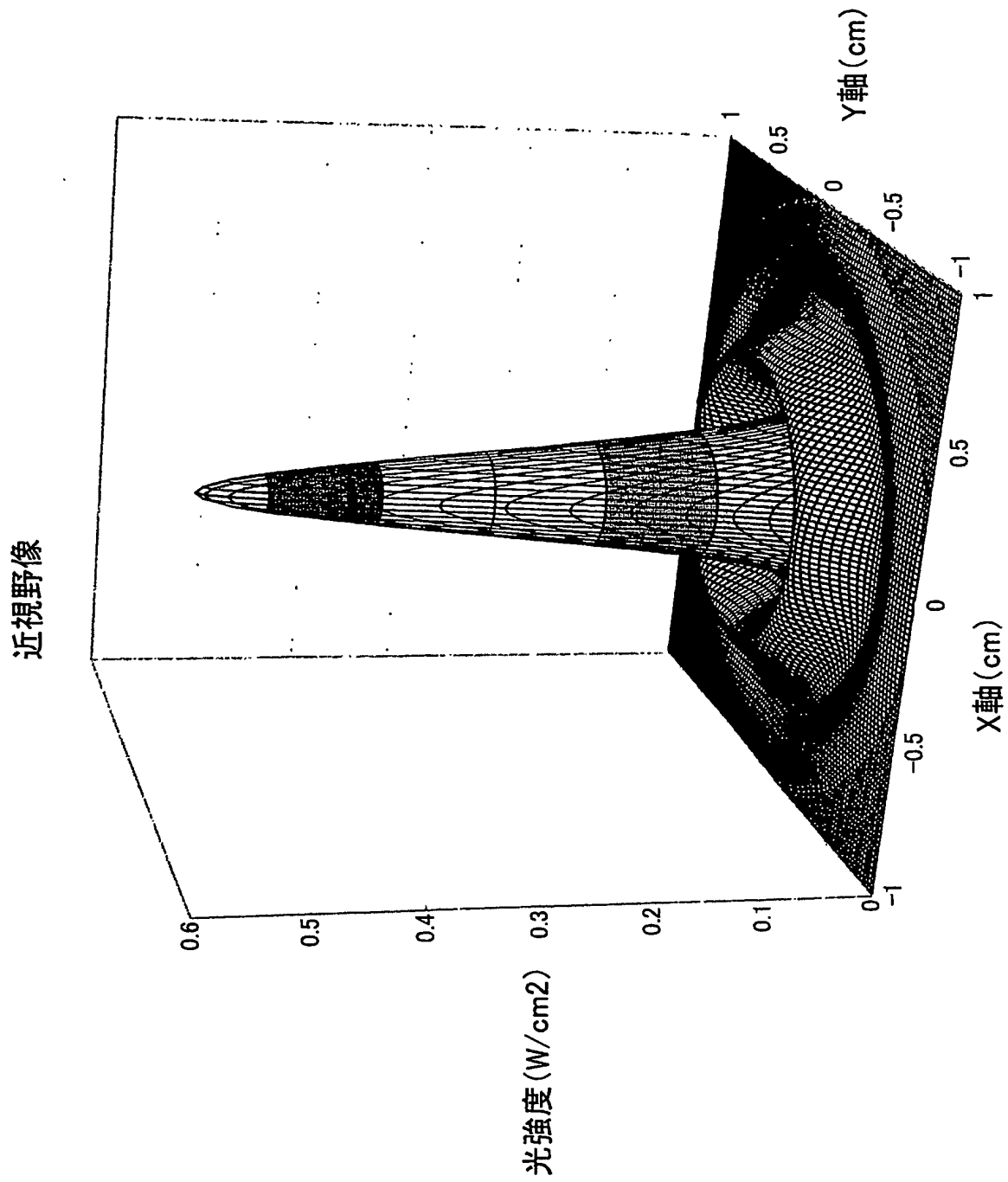


【図 18】

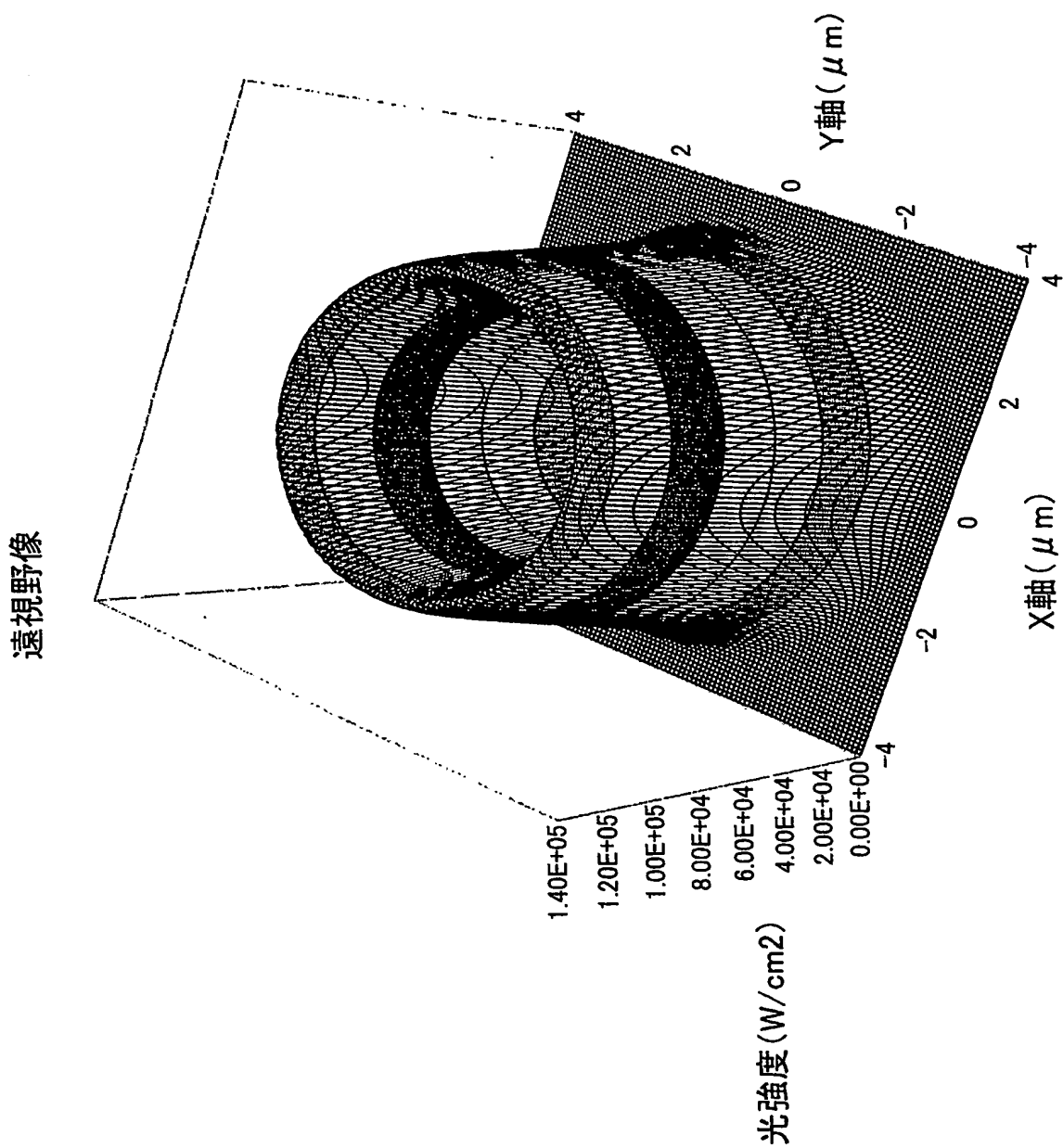
遠視野像



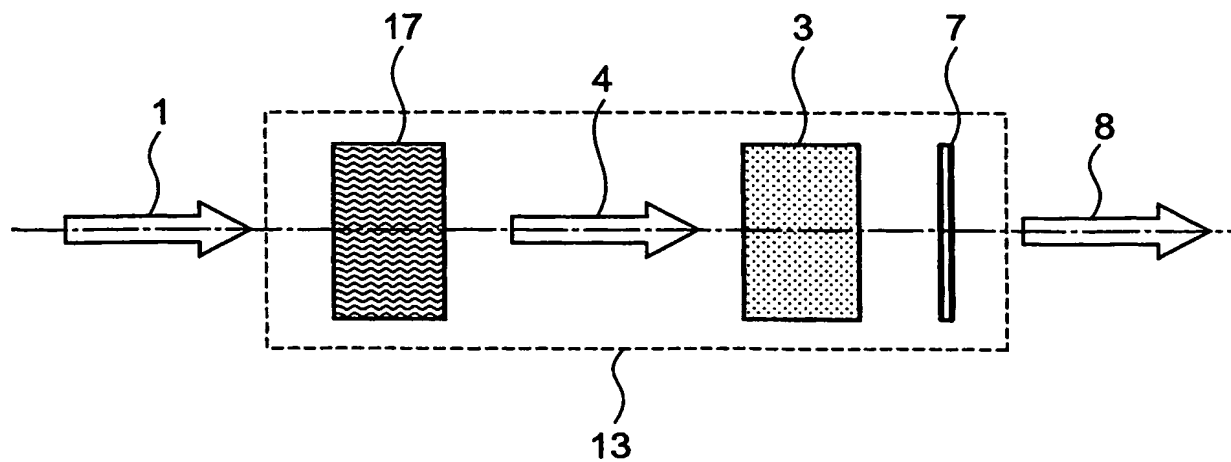
【図19】



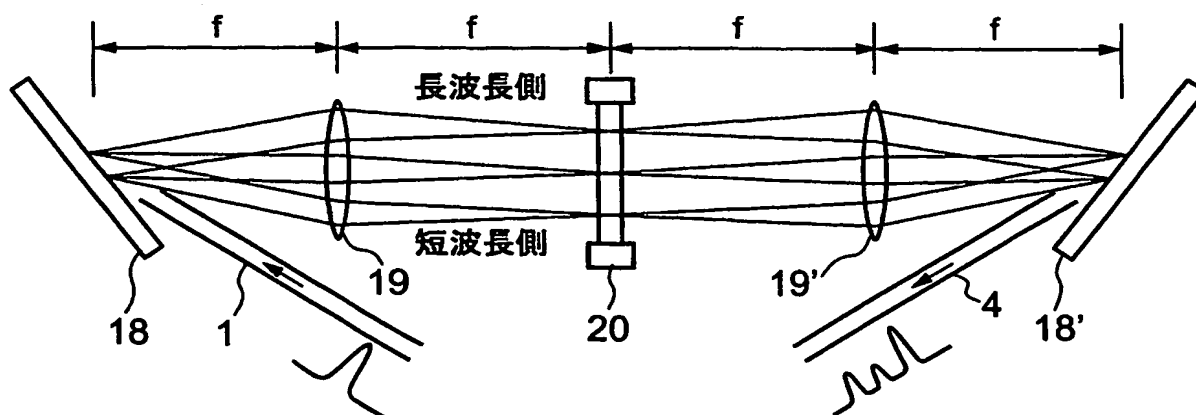
【図 20】



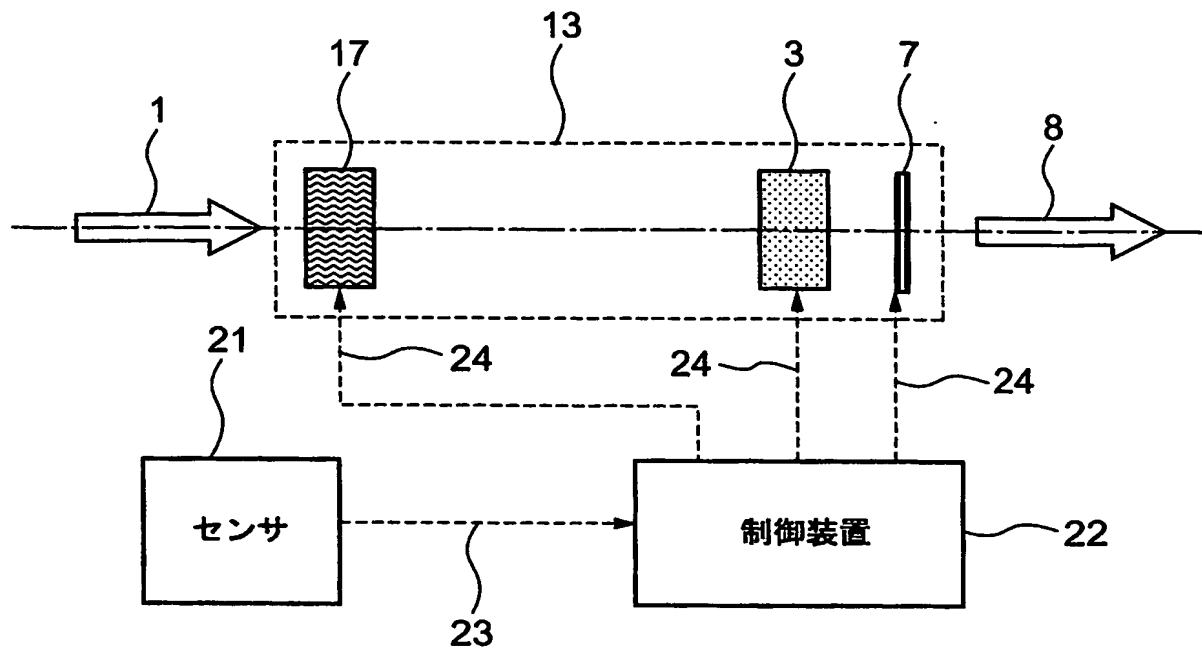
【図 2 1】



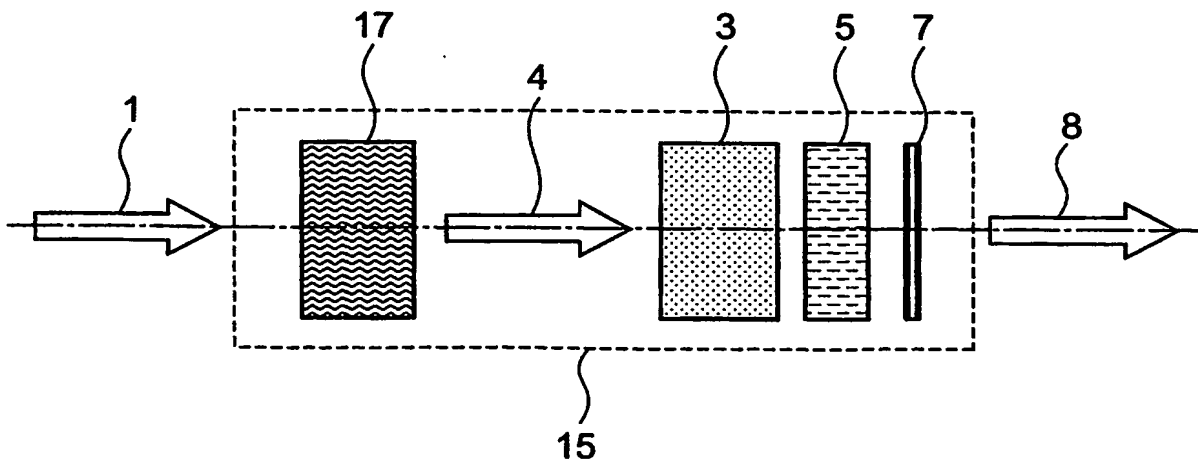
【図 2 2】



【図 23】

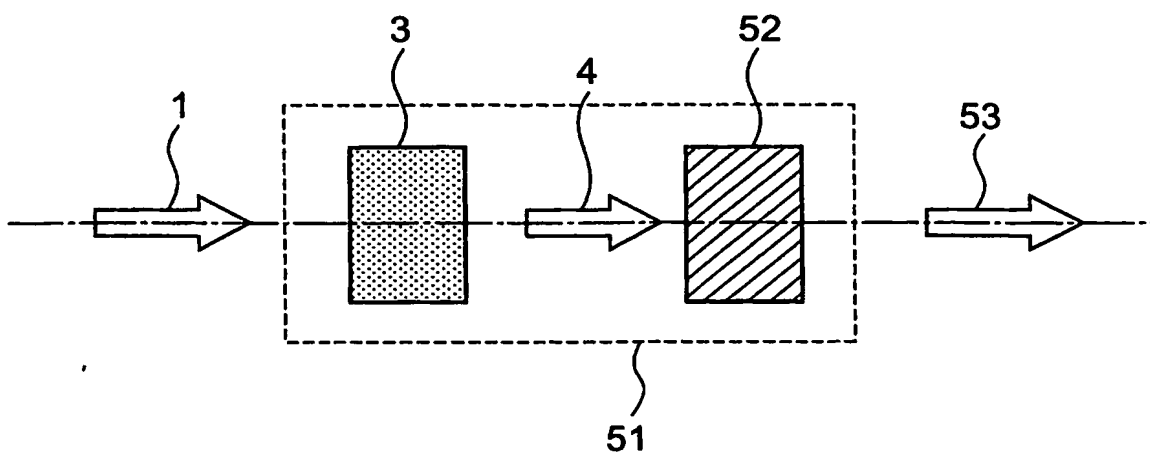


【図 24】

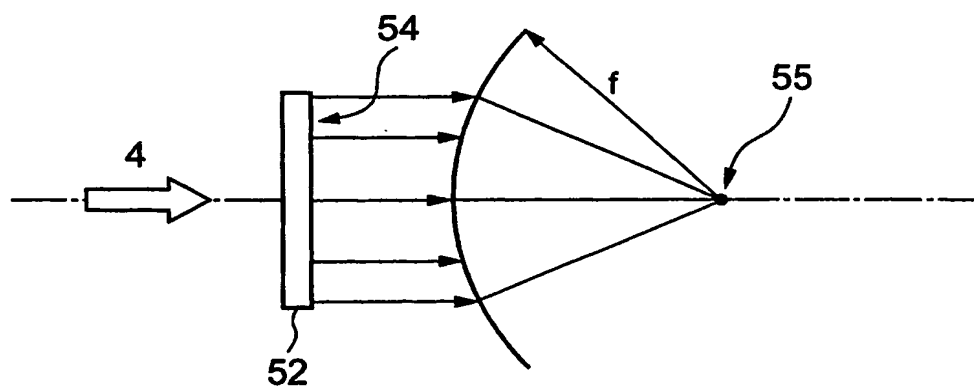




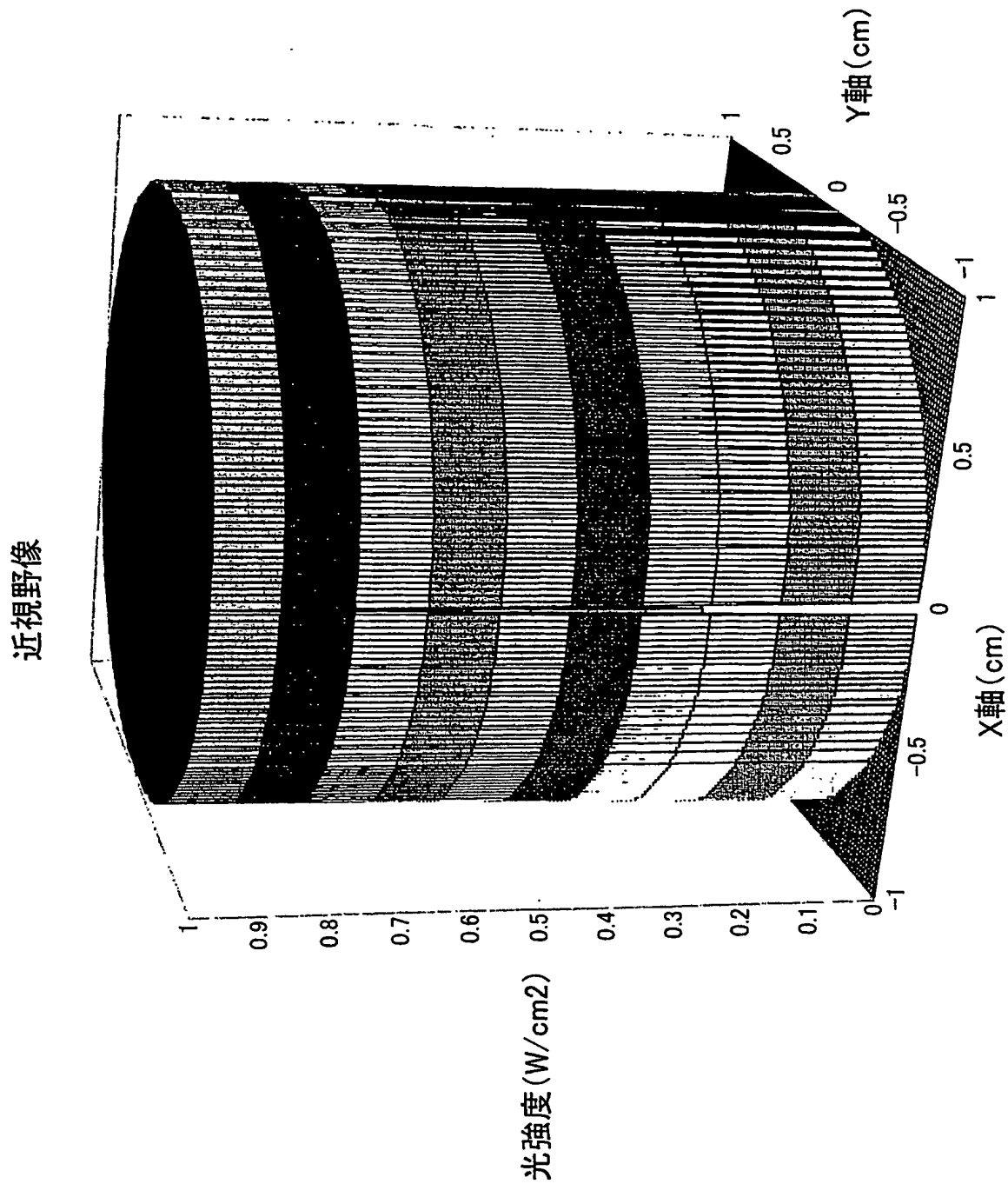
【図 25】



【図 26】

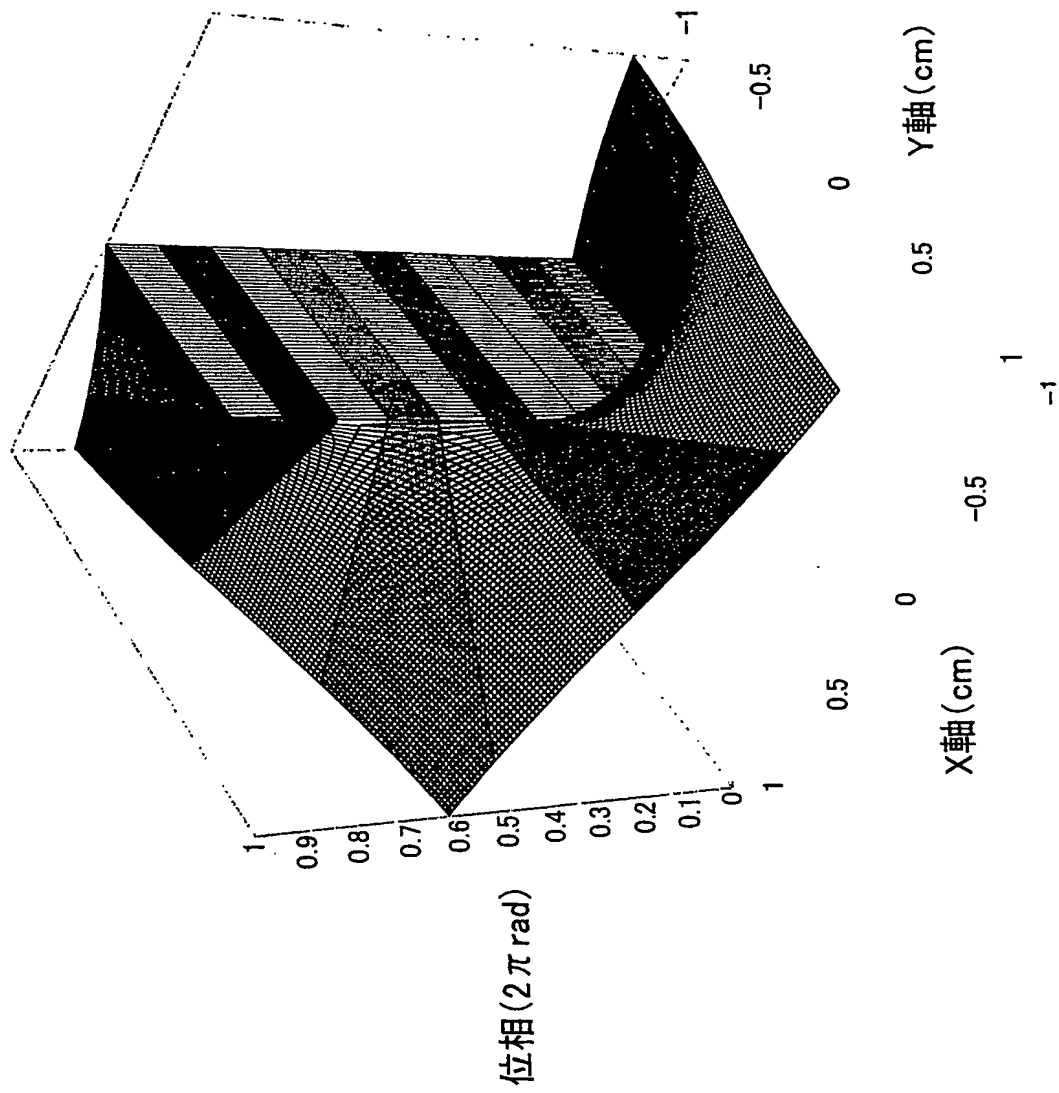


【図 27】

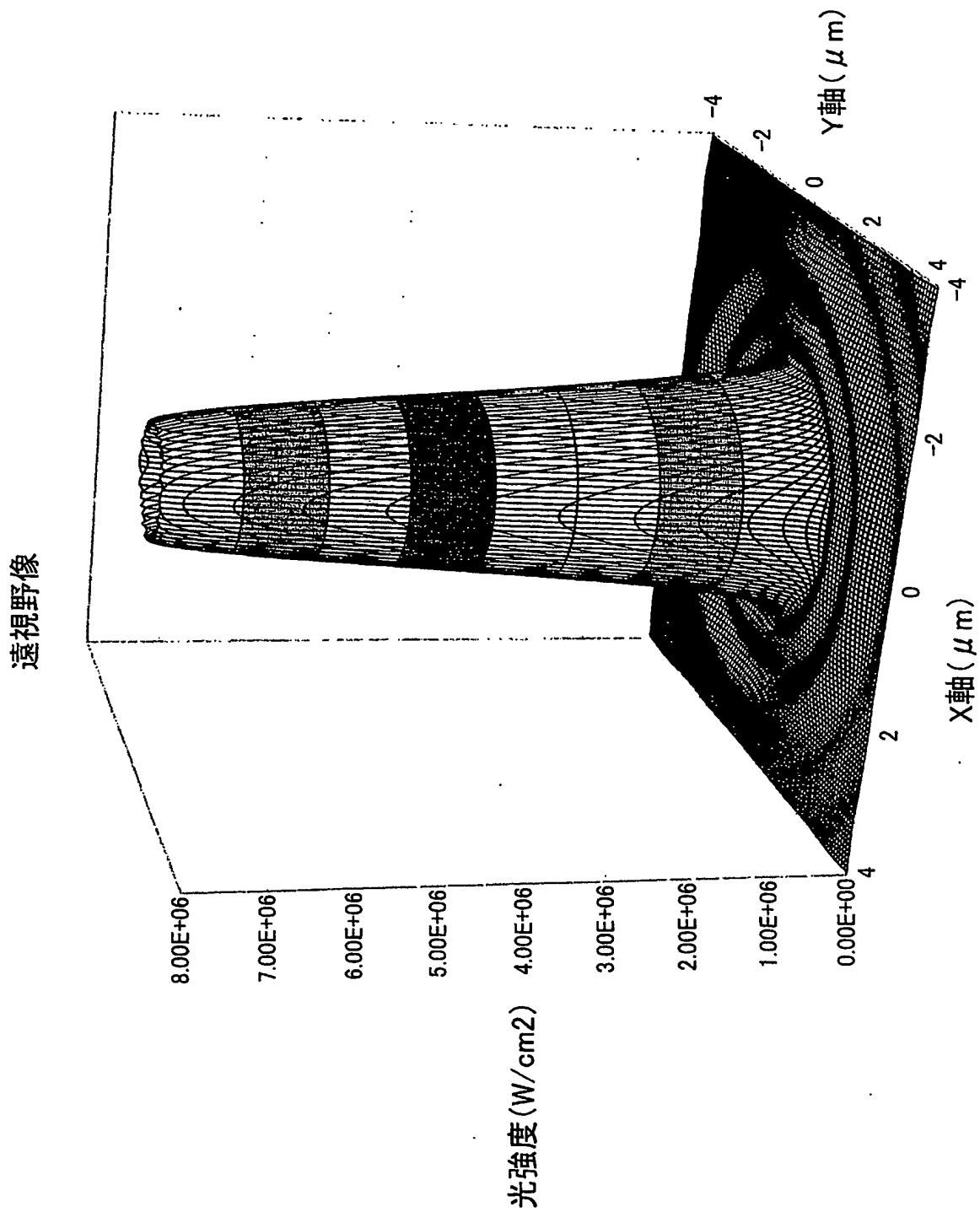


【図 28】

近視野位相(位相回転: 1ピッチ  $2\pi$  rad)

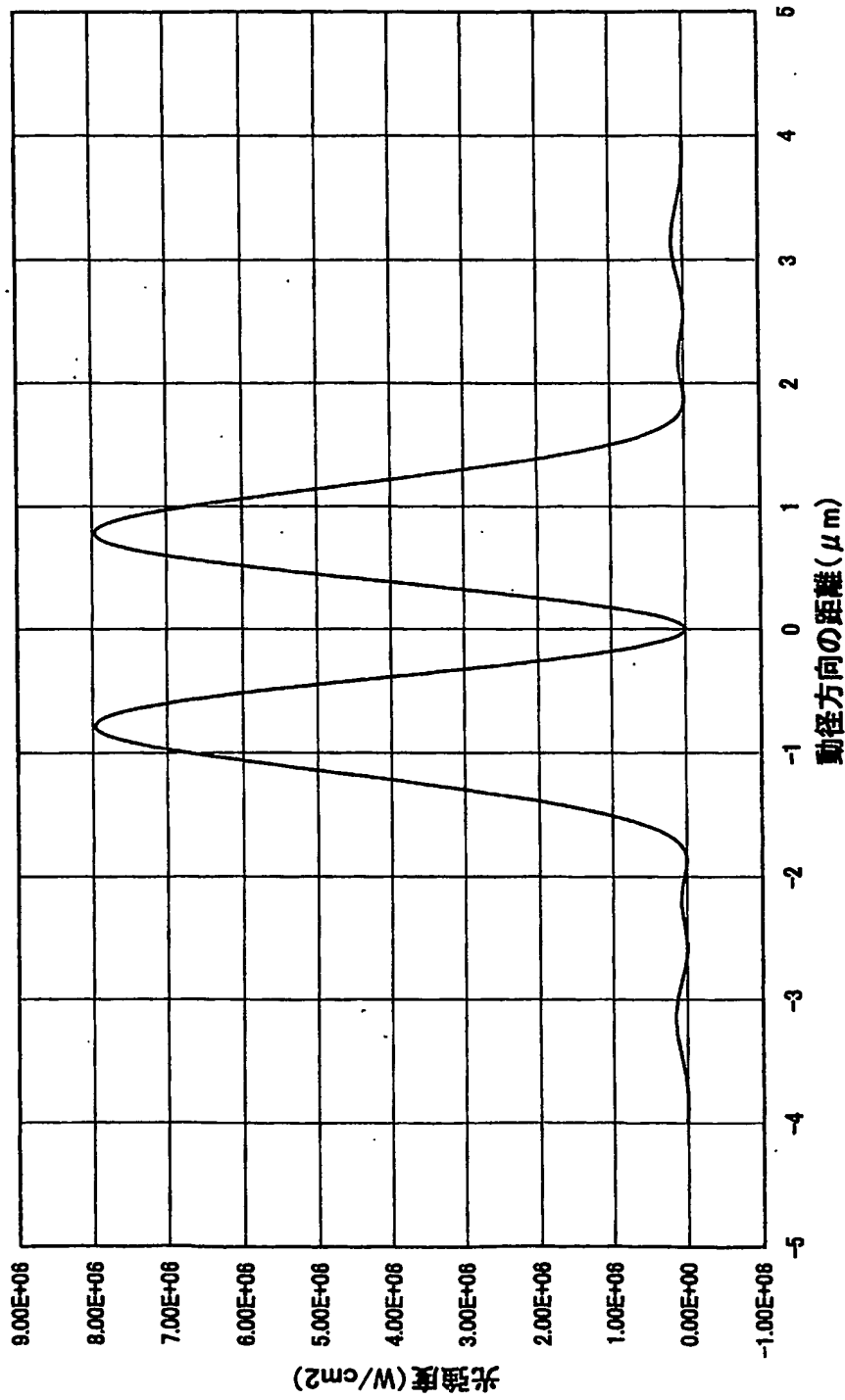


【図 29】



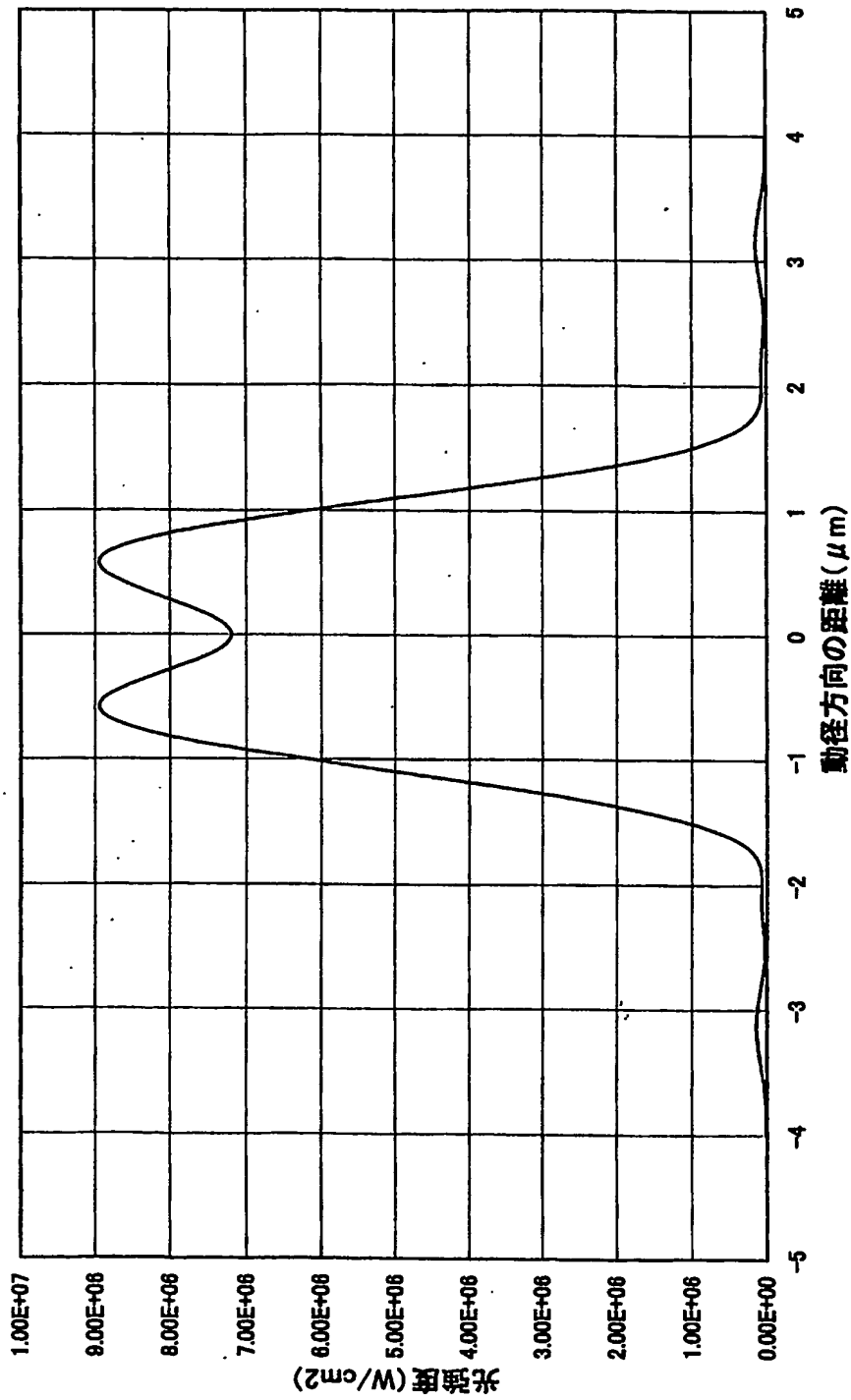
【図 30】

遠視野像断面形状(位相回転、偏光角=0°)



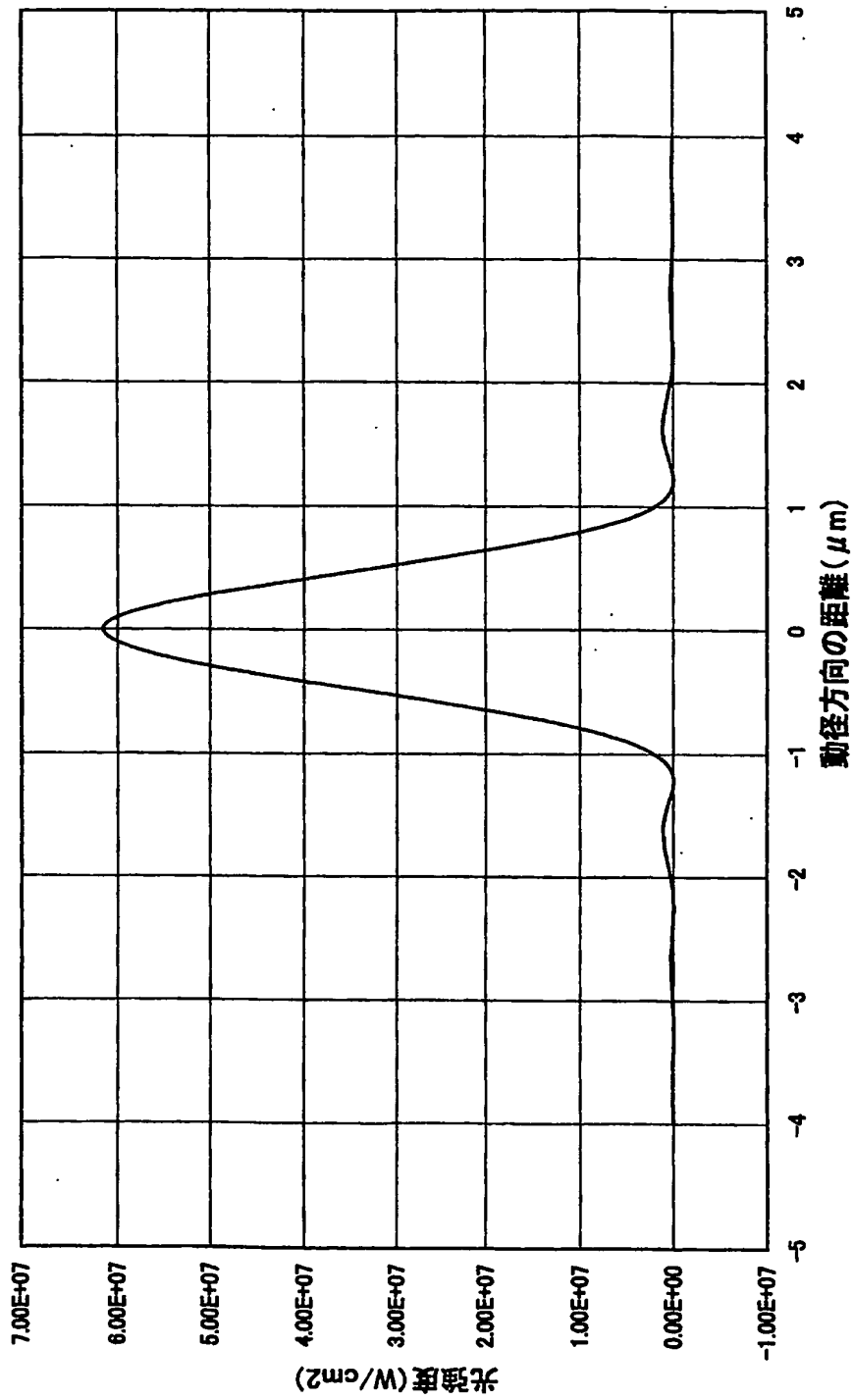
【図 31】

遠視野像断面形状(位相回転、偏光角=20°)



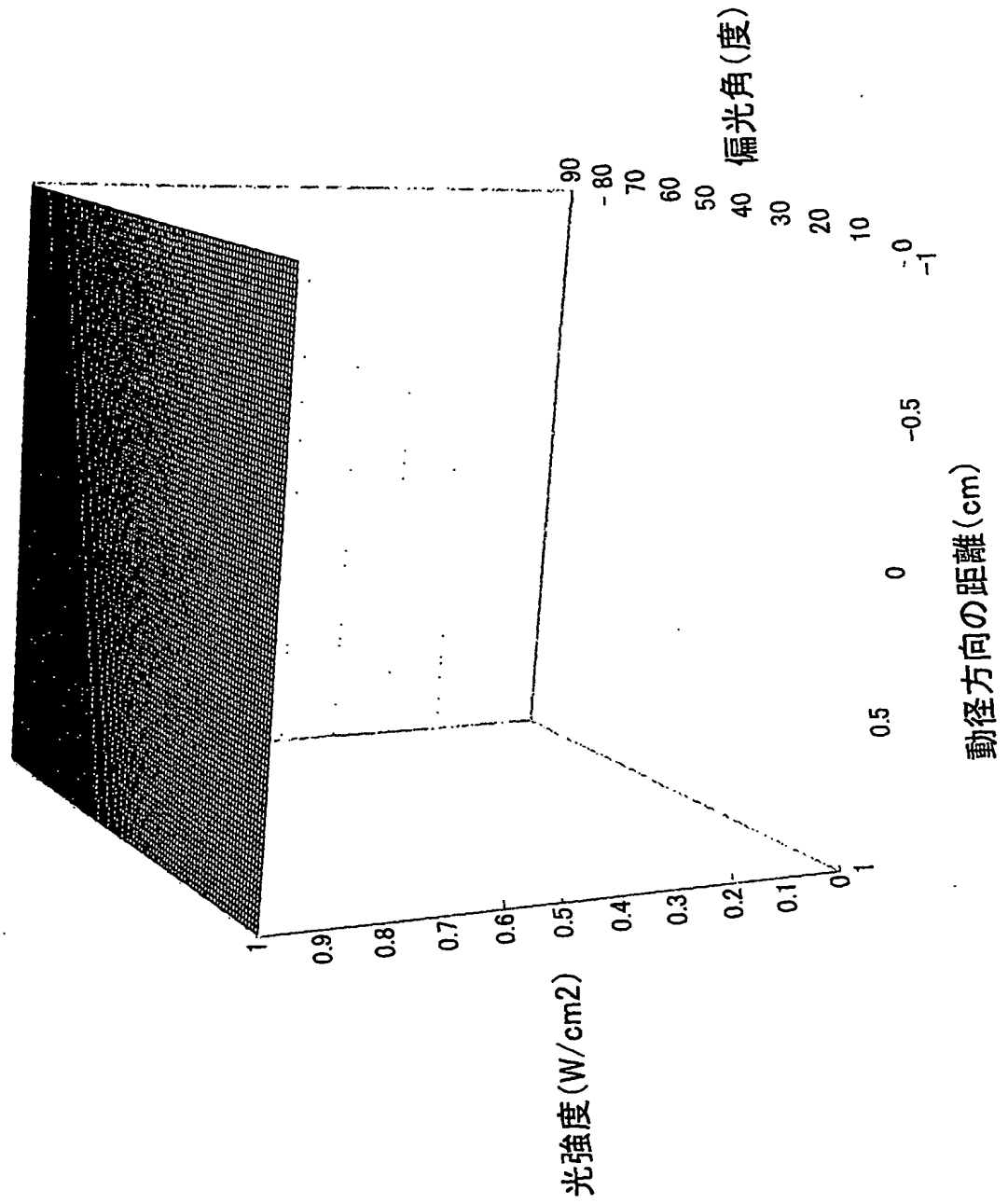
【図 32】

遠視野像断面形状(位相回転、偏光角=90°)



【図 33】

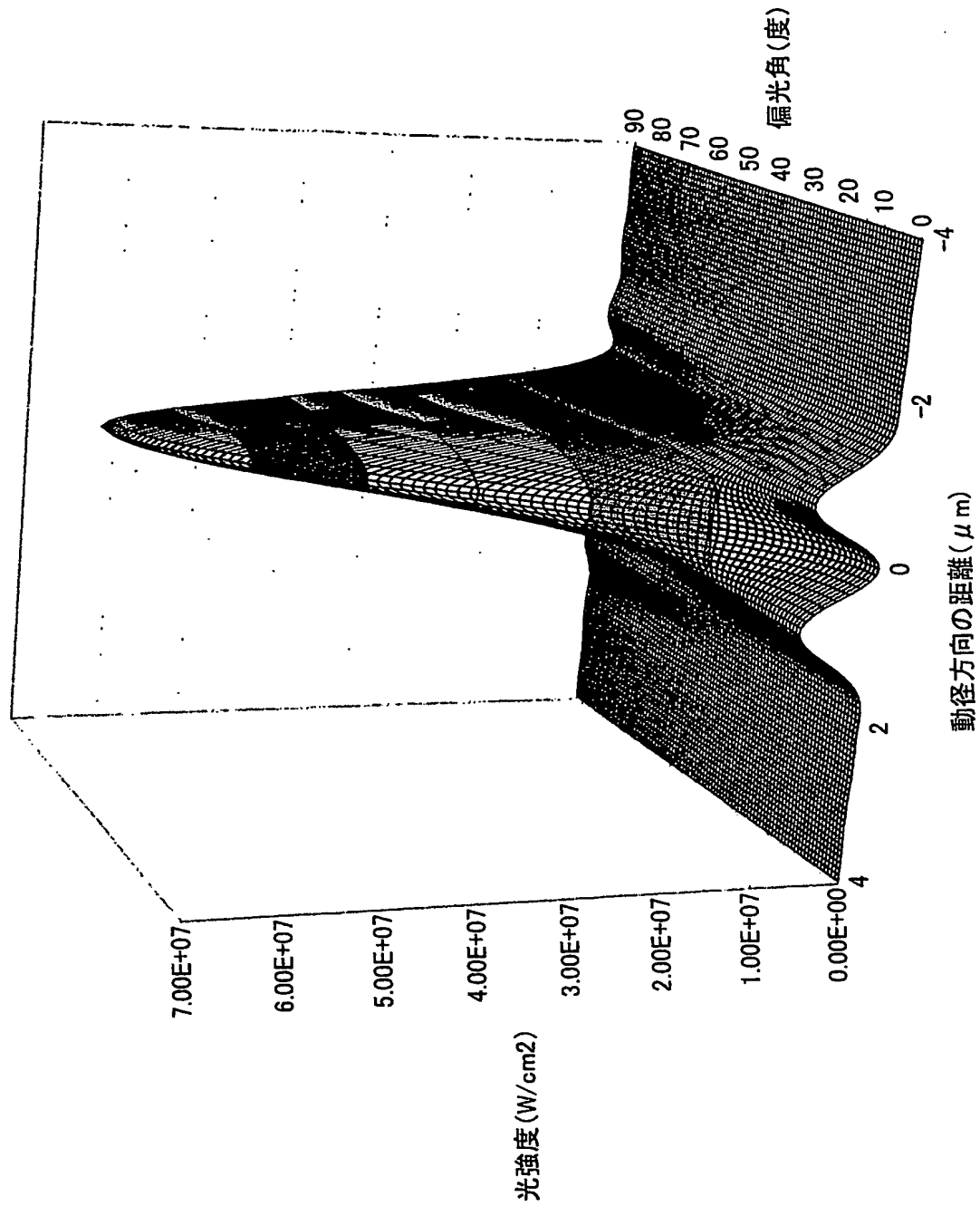
近視野像断面形状(位相回転、円形開口平面波)





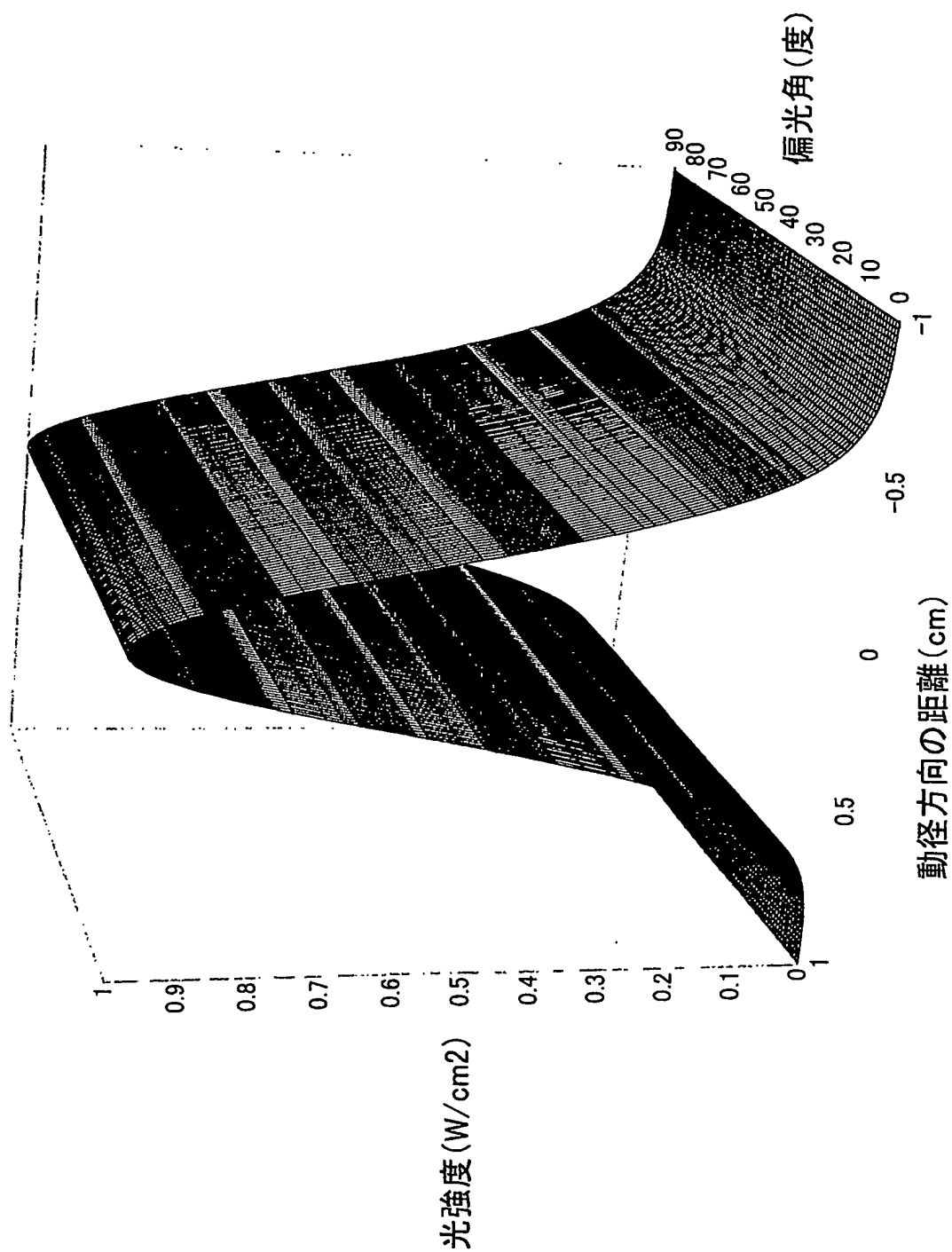
【図 34】

遠視野像断面形状(位相回転、円形開口平面波)



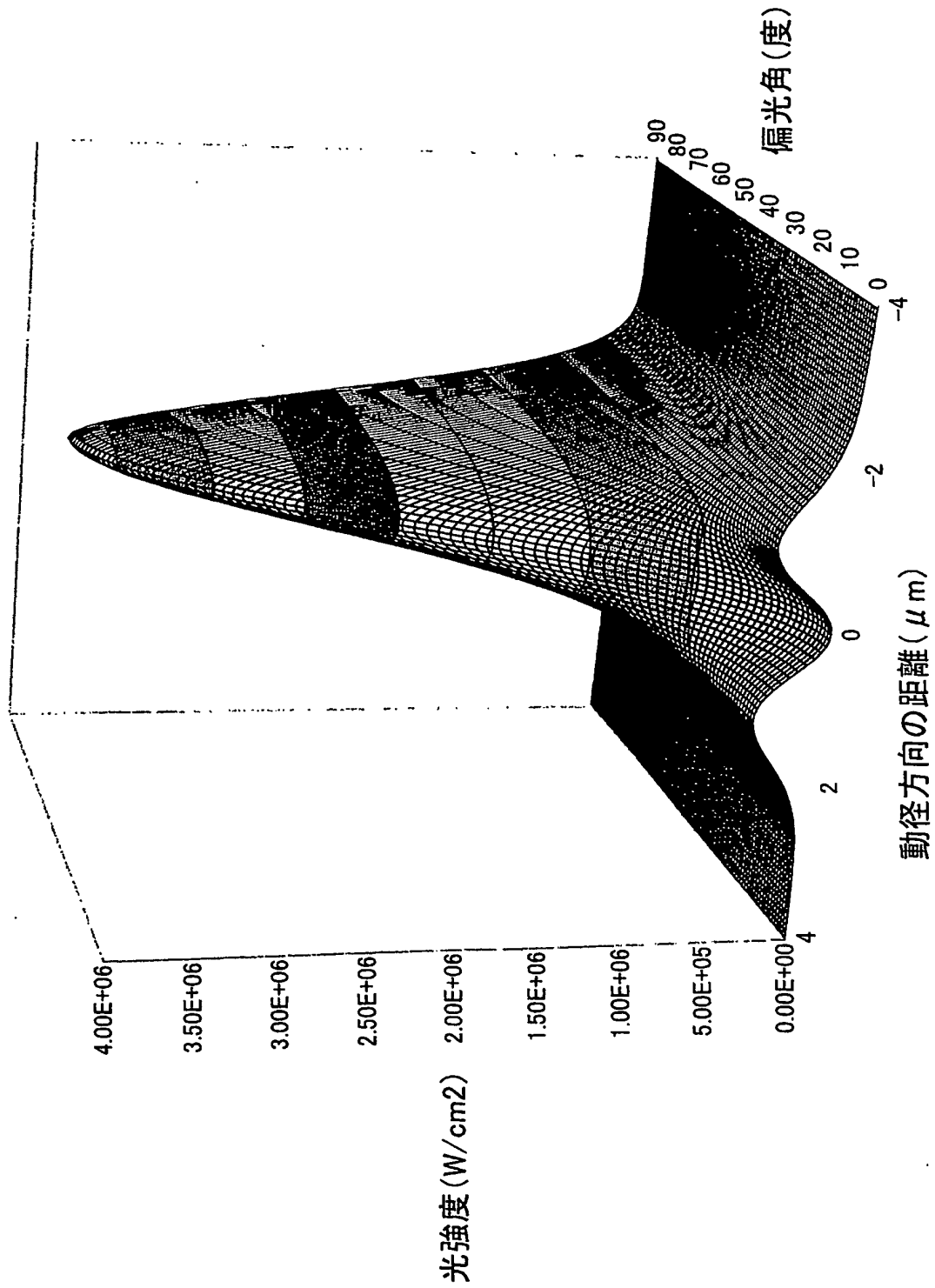
【図 35】

近視野像断面形状(位相回転、ガウス関数分布)

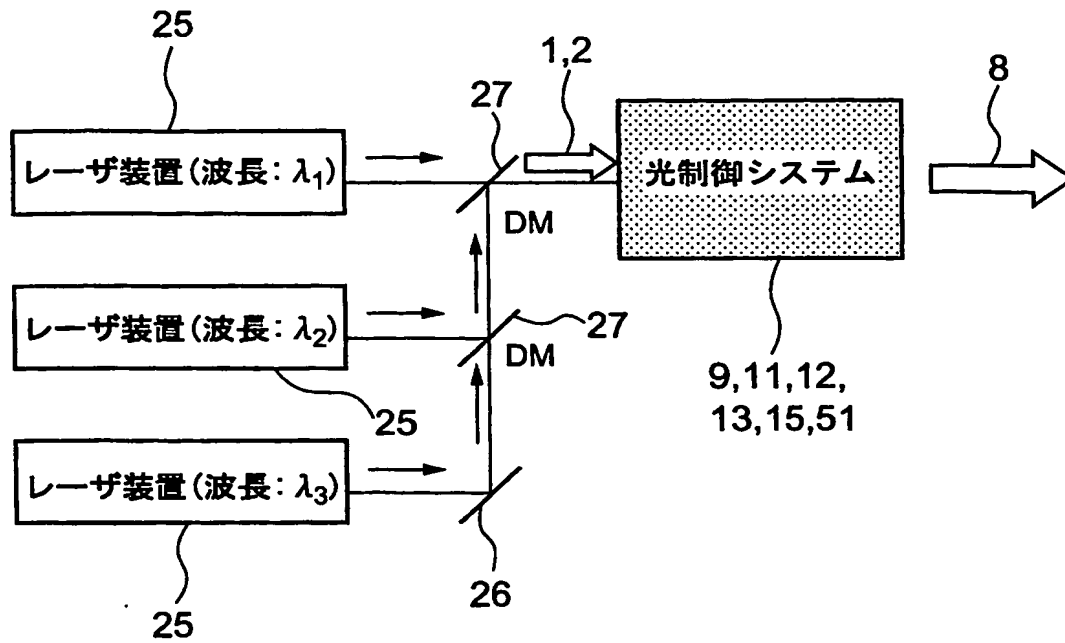


【図 36】

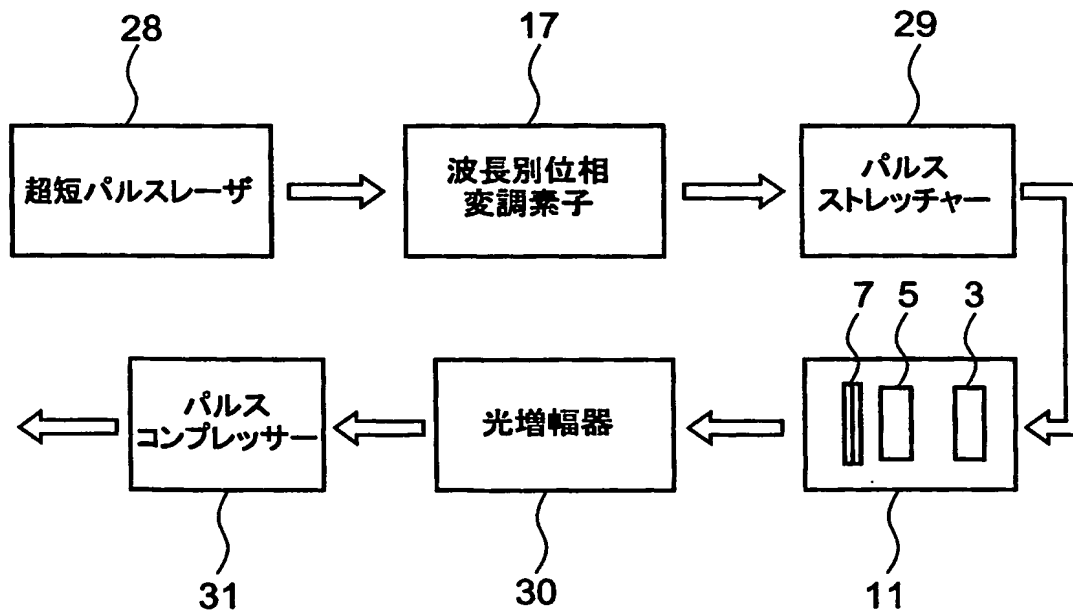
遠視野像断面形状(位相回転、ガウス関数分布)



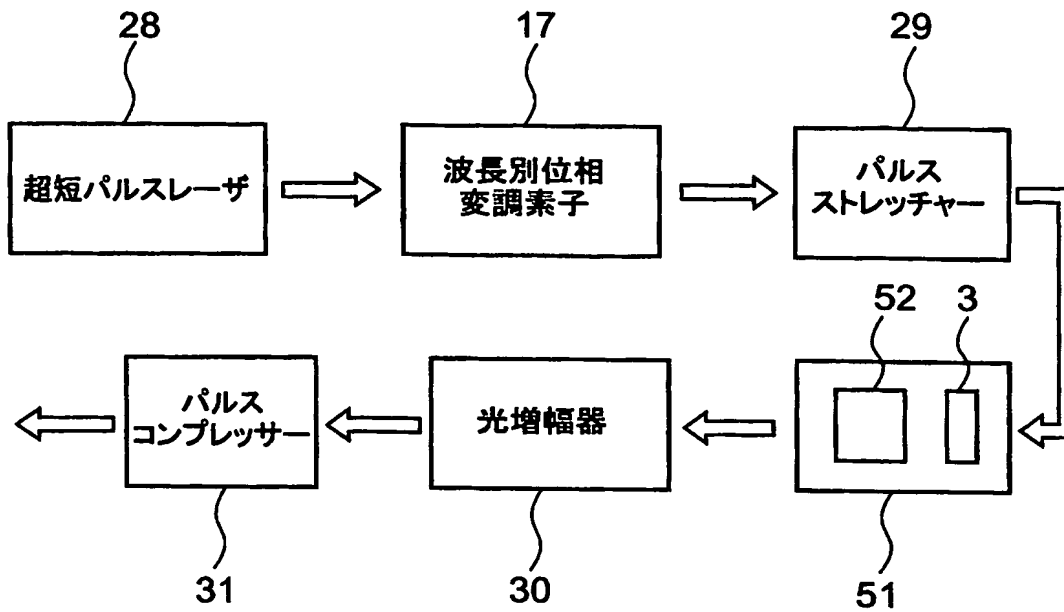
【図 37】



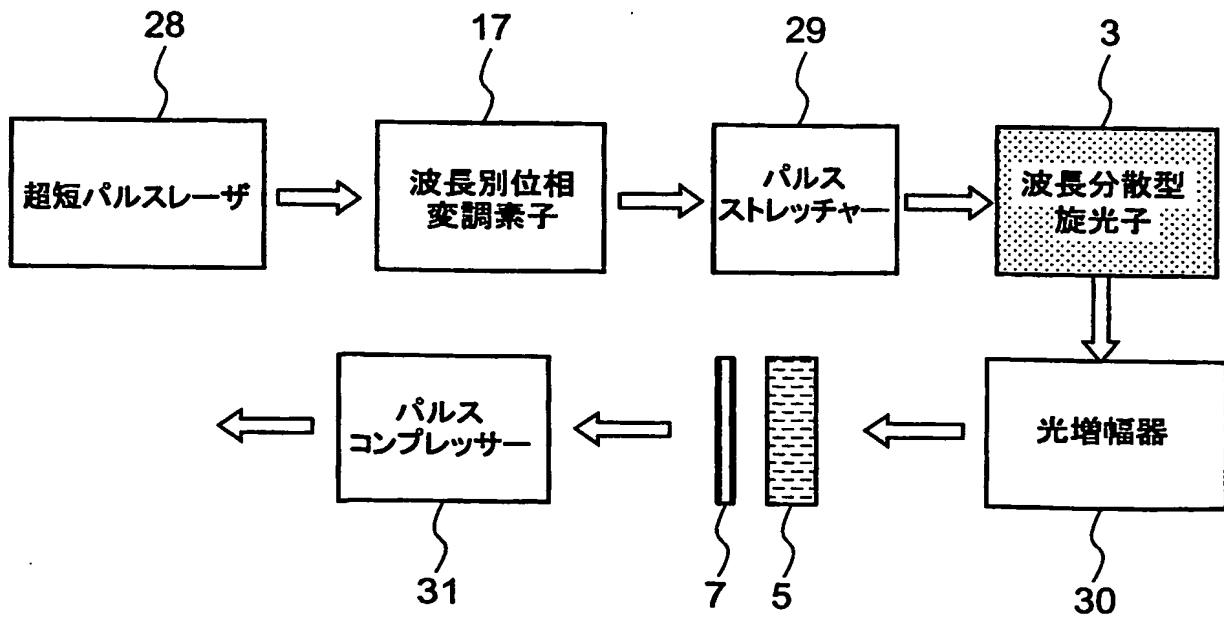
【図 38】



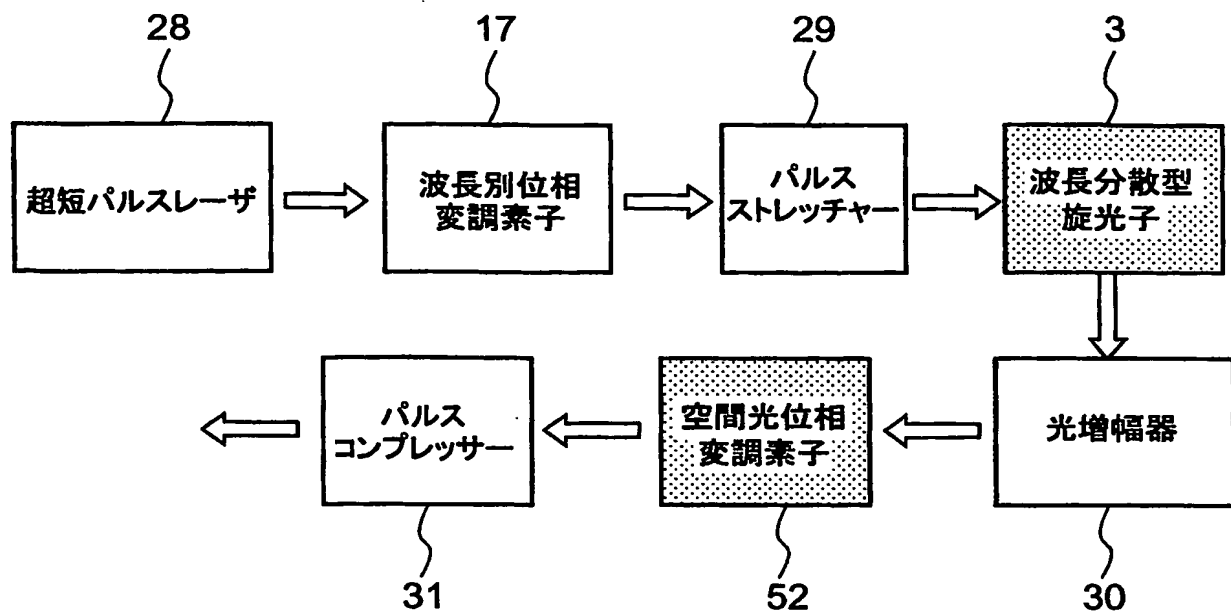
【図 39】



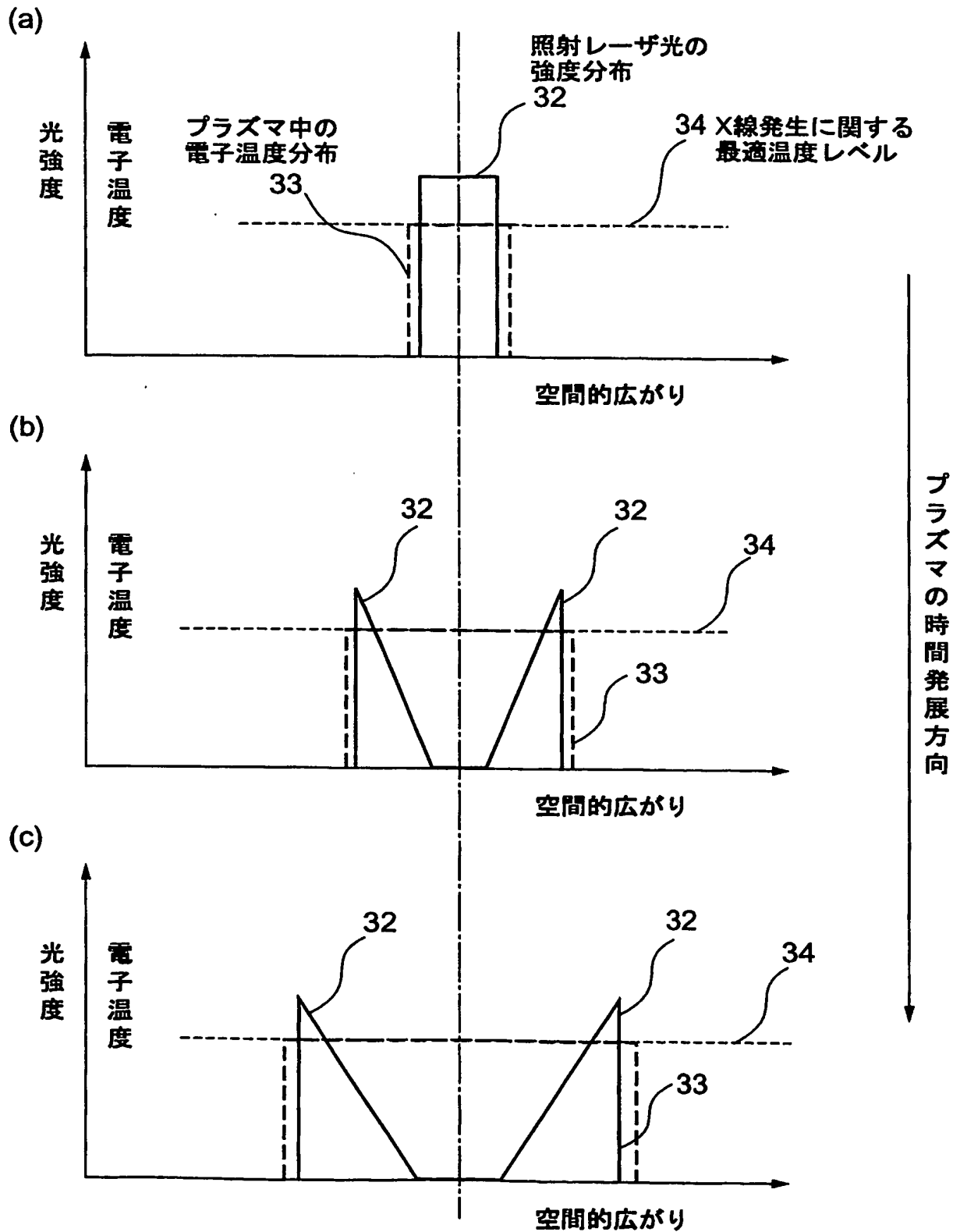
【図 40】



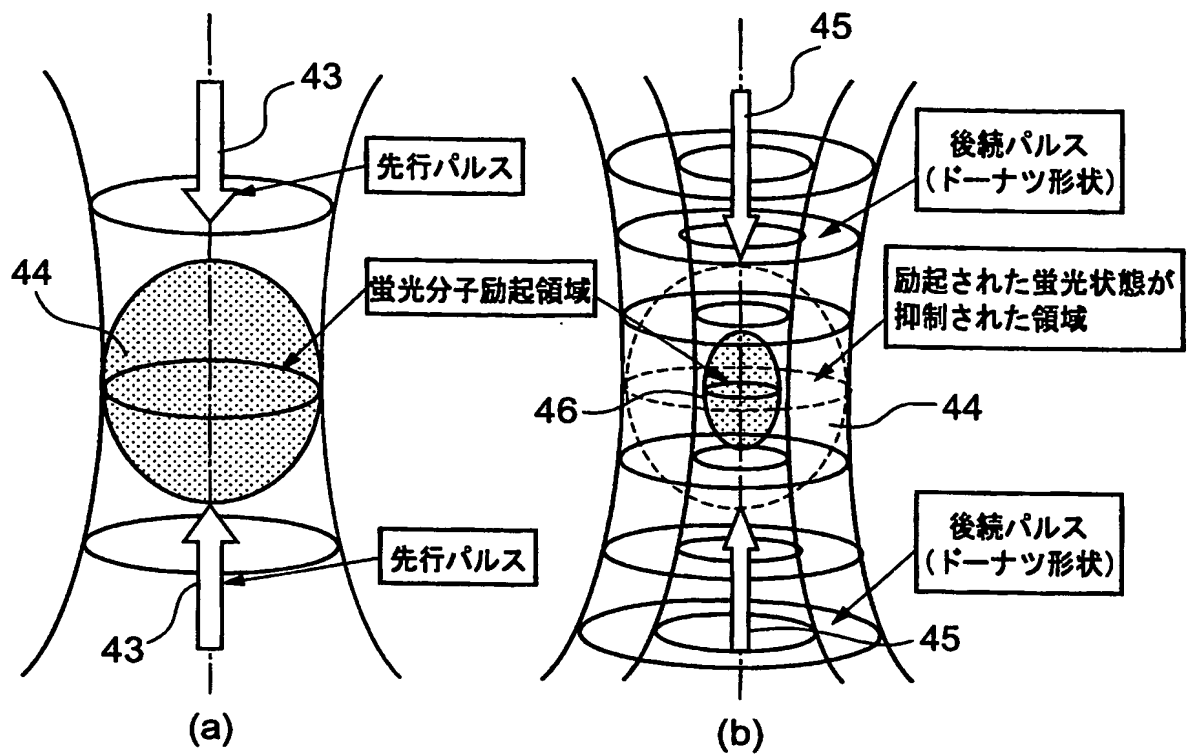
【図 41】



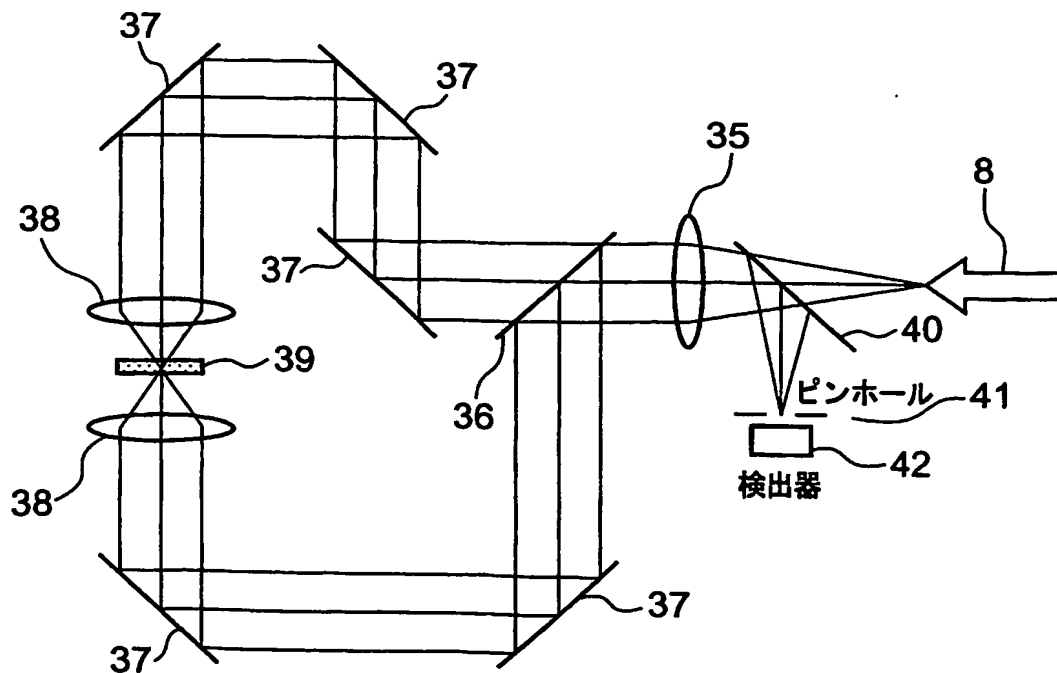
【図 4 2】



【図 4 3】



【図 4 4】





**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 複数の波長成分からなる入射光に対して各波長成分ごとに異なる空間光強度分布を与えることが可能な光制御システムに関して、出射光の色調を容易に変化させることができる特徴を生かした照明や表示用光源、または光を利用したプロセス制御法および装置を提供する。

**【解決手段】** 複数の波長成分からなる直線偏光を入射光 1 として、波長分散型旋光子 3 を透過させ波長成分ごとに異なった偏光面回転角を与えた後に、空間光変調素子 5 を通して入射光の偏光面に任意の回転角空間分布を与え、さらに検光子 7 を透過させることにより波長ごとに空間強度分布の異なった出射光を得る。

**【選択図】** 図 5

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-314820
受付番号	50301479014
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成15年 9月 8日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 9月 5日
-------	-------------

特願 2 0 0 3 - 3 1 4 8 2 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 0 9 7 4 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

兵庫県神戸市中央区東川崎町 3 丁目 1 番 1 号

氏 名

川崎重工業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**